



**Tiago José Pinheiro
Martins**

**Optimização dos consumos de água na irrigação de
campos golfe**



**Tiago José Pinheiro
Martins**

**Optimização dos consumos de água na irrigação de
campos golfe**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Automação Industrial, realizada sob a orientação científica do Dr. José Paulo Oliveira Santos, Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e coorientação do Dr. Rui António da Silva Moreira, Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Professor Doutor Jorge Augusto Fernandes Ferreira
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Vogais

Professor Doutor José Alberto Gouveia Fonseca
Professor Associado da Universidade de Aveiro

Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (Orientador)

Agradecimentos

Em primeiro lugar queria agradecer à minha família, em especial aos meus pais, por terem acompanhado sempre o meu percurso académico, por sempre acreditarem nas minhas capacidades e pelo esforço financeiro que fizeram ao longo do meu percurso académico.

Gostaria de agradecer também a todos os meus amigos, sem esquecer os colegas e os docentes que tive ao longo de toda a vida de estudante. Um agradecimento especial aos meus colegas, que me acompanharam ao longo da licenciatura e do mestrado, pelos momentos de trabalho e descontração.

Palavras-Chave

Microcontrolador; Rádio Frequência; *Real-Time Clock*; *Microsoft Visual Basic*; Comunicação sem fios; Reencaminhamento de mensagens; Irrigação;

Resumo

A presente dissertação propõe o desenvolvimento de um sistema de Irrigação de baixo custo para campos de Golfe. Este sistema é capaz de recolher a previsão meteorológica e ainda medir um conjunto de valores (temperatura, humidade, velocidade do vento) que determina quando e quanto regar. Os campos de Golfe consomem diariamente elevadas quantidades de água, sendo esta a principal crítica feita pelas organizações ambientais.

Esta dissertação incorpora uma comunicação sem fios de baixo custo, que dispensa a cablagem que é necessária para haver comunicação entre os diversos equipamentos, que estão distribuídos pelo campo de Golfe.

O sistema desenvolvido pretende reduzir os desperdícios dos recursos hídricos na rega, pois é um sistema inteligente que poderá ser adquirido não só por gestores de campos de Golfe, mas também por jardins residenciais e municipais. Com o objetivo de criar um sistema de baixo custo foi elaborado um algoritmo de reencaminhamento de mensagens, que permite utilizar equipamentos de comunicação sem fios de baixo custo. Todo o sistema de Irrigação é controlado e monitorizado através de uma interface, desenvolvida em *Microsoft Visual Basic*.

Keywords

Microcontroller; Radio frequency; Real-Time Clock; Microsoft Visual Basic; Wireless communication; Message forwarding; Irrigation;

Abstract

The present dissertation proposes the development of a low-cost Irrigation system for golf courses. This system is able to acquire weather forecast and also measure a set of values (temperature, humidity, wind speed) that defines when and how much to water. The golf courses consume high amounts of water daily, being this the main review made by environmental organizations.

This dissertation incorporates a wireless low-cost communication, which eliminates the electric wires needed to communicate between the several devices distributed on the golf course.

The developed system aims to reduce the waste of water resources in the irrigation, as it is an intelligent system that can be acquired not only by managers of golf courses, but also by residential and municipal gardens. With the objective of creating a low-cost system it was developed a message forwarding algorithm that allows the use of low-cost wireless communication equipment. The entire Irrigation system is controlled and monitored via an interface developed in Microsoft Visual Basic.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contexto.....	1
1.2	Problema a resolver e qual a sua importância	2
1.3	Solução.....	3
1.4	Organização.....	4
2	Revisão do estado de arte	5
2.1	Dissertações	5
2.2	Artigos.....	8
2.3	Soluções comerciais atuais	9
2.4	Caracterização de um relvado.....	13
2.5	Tarifas bi-horárias elétricas.....	21
3	Protocolos de Comunicação	25
3.1	<i>RS-232</i>	25
3.2	<i>Modbus</i>	26
4	Proposta de uma nova solução.....	29
4.1	Organização da solução	30
4.2	Unidade Central/ <i>Master</i> e <i>Slaves</i>	31
4.3	Comunicação sem fios	35
4.4	Relógio de rega.....	40
5	Implementação da solução proposta	43
5.1	Comunicação proposta	45
5.1.1	Estrutura da Mensagem proposta	45
5.1.2	Reencaminhamento de Mensagem proposto.....	50
5.2	<i>Master</i>	58
5.3	<i>Slave</i>	61

5.4	Interface com o utilizador proposta	63
5.4.1	Inicialização	64
5.4.2	Funcionalidades	67
5.4.1	Previsão Meteorológica	68
5.4.2	Configurações	71
5.4.3	Base de Dados	74
5.4.4	Menu “Ajuda”	76
5.5	Análise de resultados do sistema implementado	77
6	Conclusões e trabalho futuro	79
6.1	Conclusões gerais	79
6.2	Trabalho futuro	81
7	Bibliografia.....	83
8	Anexos.....	87
Anexo A.	Endereços físicos da rede implementada	87
Anexo B.	Aplicação Desenvolvida.....	89
Anexo C.	Registos dos <i>Slaves</i>	95
Anexo D.	Lista de Erros da comunicação RF.....	96
Anexo E.	Esquema elétrico <i>Master</i>	97
Anexo F.	Esquema elétrico <i>Slave</i>	98

Índice de Figuras

Figura 1.1: Distribuição da água no planeta Terra [1].....	1
Figura 1.2: Desperdício de água em 2000 (à esquerda) e em 2009 (à direita) [3]	2
Figura 2.1: Coluna de sensores proposta pela autora Ana Abreu [6]	6
Figura 2.2: Estrutura proposta pelo autor Pedro Ribeiro [7]	7
Figura 2.3: Diagrama da solução proposta pelos autores do artigo [8]	9
Figura 2.4: Produtos da <i>Gardena</i> [11].....	10
Figura 2.5: Aspersor de turbina escamoteável da <i>Hunter</i> [14]	12
Figura 2.6: Janela do <i>software “Surveyor 2”</i> [16]	12
Figura 2.7: Aplicação da ecoespuma por injeção [21]	15
Figura 2.8: Injeção da ecoespuma no solo, evolução ao fim de 16 semanas (à direita) [20].....	16
Figura 2.9: Aplicação da ecoespuma por camada [20]	16
Figura 2.10: Eletroválvula por impulso (modelo LFV-075-9V) da <i>Rain Bird</i> [13]	17
Figura 2.11: Equipamentos de rega [13]	17
Figura 2.12: Sensor de chuva (modelo RSD-BEX) da <i>Rain Bird</i> [13].....	18
Figura 2.13: Estação meteorológica da <i>Rain Bird</i> [13]	18
Figura 2.14: Sensor de caudal da <i>Rain Bird</i> [13]	19
Figura 2.15: Reserva de água para um campo de Golfe [23]	19
Figura 2.16: Aspersor de rega de água residual da <i>Hunter</i> [17]	20
Figura 2.17: Horário Baixa Tensão Normal (Distribuidor de energia: EDP) [27].....	22
Figura 3.1: Mensagem <i>Modbus</i> em modo <i>RTU</i>	27
Figura 3.2: Mensagem <i>Modbus</i> em modo <i>ASCII</i>	27
Figura 3.3: Descrição das funções <i>Modbus</i> [32]	28
Figura 3.4: Categorias das funções <i>Modbus</i> [32].....	28
Figura 4.1: Estrutura da nova solução proposta	30
Figura 4.2: Três tipos de topologias de redes [34].....	31
Figura 4.3: <i>Raspberry Pi</i> modelo A [37].....	32
Figura 4.4: Autómato industrial da <i>Siemens</i> [38]	33
Figura 4.5: Microcontrolador PIC18LF2520 da <i>Microchip</i> [39].....	35
Figura 4.6: Pinos de conexão do módulo nRF24L01+ [42]	36
Figura 4.7: Envio e receção de uma mensagem RF bem-sucedido.....	37
Figura 4.8: Envio de uma mensagem RF sem sucesso	38
Figura 4.9: Módulo nRF24L01+	38

Figura 4.10: Formato da mensagem de rádio frequência, nRF24L01+	39
Figura 4.11: <i>Packet Control Field</i>	39
Figura 4.12: Estrutura do <i>RTC</i> que comunica por I^2C [49]	41
Figura 5.1: Estrutura da solução implementada	44
Figura 5.2: Estrutura da mensagem <i>Modbus Beta</i>	46
Figura 5.3: Número de <i>bytes</i> de cada campo da mensagem	46
Figura 5.4: Divisão dos 16 <i>bits</i> do campo	48
Figura 5.5: Divisão de um <i>byte</i> em grupos de <i>Slaves</i>	51
Figura 5.6: Rede de <i>Slaves</i> implementada	52
Figura 5.7: Rede de <i>Slaves</i> para uma topologia de oito grupos	53
Figura 5.8: Rede de <i>Slaves</i> para uma topologia de dois grupos	53
Figura 5.9: Distância máxima da comunicação sem fios	54
Figura 5.10: Fluxograma da receção da mensagem	55
Figura 5.11: Fluxograma da verificação do reencaminhamento	56
Figura 5.12: Cálculo do endereço de reencaminhamento	57
Figura 5.13: Reencaminhamento de mensagens entre equipamentos	58
Figura 5.14: Comunicações associadas ao <i>Master</i>	59
Figura 5.15: Comunicações associadas ao <i>Slave</i>	62
Figura 5.16: Placa de circuito impresso desenvolvida	63
Figura 5.17: Ecrã - Janela Principal	65
Figura 5.18: Ecrã - Configuração da Porta Série	66
Figura 5.19: Ecrã - Atuadores em Modo Automático	68
Figura 5.20: Ecrã - Previsão Meteorológica, IPMA	70
Figura 5.21: Ecrã - Configuração dos Atuadores	72
Figura 5.22: Área de edição do posicionamento da eletroválvula na interface	73
Figura 5.23: Ecrã - Histórico de Comunicações	74
Figura 5.24: Ecrã - Filtragem do Histórico de Comunicações	75
Figura 5.25: Ecrã - Aviso de erro na comunicação RF	76
Figura 8.1: Ecrã - Credenciais de Acesso	89
Figura 8.2: Ecrã - Teste da configuração da Porta Série	89
Figura 8.3: Ecrã - Sensores em Modo Automático	90
Figura 8.4: Ecrã - Previsão Meteorológica, <i>GlobalWeather</i>	91
Figura 8.5: Ecrã - Alteração do posicionamento da eletroválvula na janela	92

Figura 8.6: Ecrã - Configuração dos Sensores.....	93
Figura 8.7: Ecrã - Autorização Especial	93
Figura 8.8: Ecrã - Histórico da Previsão Meteorológica	94
Figura 8.9: Ecrã - Versão da aplicação.....	94
Figura 8.10: Ecrã - Lista de Erros.....	95

Índice de Tabelas

Tabela 2.1: Quadro comparativo dos controladores, <i>Gardena</i> [11].....	10
Tabela 2.2: Quadro comparativo dos controladores, <i>Rain Bird</i> [13]	11
Tabela 2.3: Quadro comparativo dos controladores, <i>Hunter</i> [17]	13
Tabela 2.4: Preço do KWh para uma Potência Aparente entre 6,9 e 20,7 KVA [28]	23
Tabela 5.1: Endereço dos dispositivos de rádio frequência implementados.....	47
Tabela 5.2: Descrição do código de cada função do <i>Modbus Beta</i>	48
Tabela 5.3: Número de <i>TTL</i> para cada grupo	54
Tabela 5.4: Descrição dos dados gravados na <i>EEPROM</i>	60
Tabela 5.5: Lista de localidades das fontes Meteorológicas	69
Tabela 5.6: Tempo de resposta do sistema desenvolvido	77
Tabela 8.1: Endereços físicos de todos os equipamentos.....	87
Tabela 8.2: Descrição dos registos do <i>Slave</i>	95
Tabela 8.3: Identificação dos Erros na comunicação	96

Índice de Gráficos

Gráfico 2.1: Variação da Precipitação em Aveiro [24]	20
Gráfico 2.2: Variação do Custo Anual de acordo com a tarifa respetiva	23

Glossário

ACK (*Acknowledgement*) - Sinal que identifica que o recetor recebeu os dados enviados.

ADC (*Analogic to Digital Convert*) - Dispositivo eletrónico capaz de gerar uma representação digital a partir de uma grandeza analógica.

ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) - A combinação binária de 8 *bits* permite representar letras, números e outros caracteres.

DAC (*Digital to Analogic Convert*) - Dispositivo eletrónico capaz de converter uma grandeza digital numa grandeza analógica.

EDP (*Energia de Portugal*) - Operador energético com enorme presença na produção, distribuição e comercialização de energia elétrica, e ainda no sector do gás da Península Ibérica.

EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) - Memória não volátil, capaz de armazenar informação mesmo quando não está a ser alimentada eletricamente.

IPMA (*Instituto Português do Mar e da Atmosfera*) - Laboratório de Estado que tem por missão promover e coordenar a investigação científica, o desenvolvimento tecnológico, a inovação e a prestação de serviços no domínio do mar e da atmosfera.

I²C (*Inter Integrated Circuit*) - Protocolo de comunicação que permite que diversos equipamentos comuniquem através de um barramento.

Master - Dispositivo que inicia a comunicação enviando mensagens a solicitar que os outros dispositivos realizem determinadas tarefas.

Microcontrolador (μ C ou MCU) - Circuito integrado que contém um processador, memória e diversos periféricos, que de acordo com a sua programação realiza diversas tarefas.

RF (*Rádio Frequência*) - Comunicação através de ondas eletromagnéticas.

Rota de transmissão - Trajetória ou caminho que uma mensagem percorre para atingir o seu destino final.

RTC (*Real-Time Clock*) - Circuito integrado que funciona como um relógio.

Slave - Dispositivo que nunca inicia a comunicação, apenas recebe e realiza as ordens enviadas pelo *Master*.

SPI (*Serial Peripheral Interface*) - Protocolo que permite a comunicação com diversos componentes, formando uma rede *Master/Slave*.

Wireless - Comunicação sem-fios.

1 Introdução

No presente capítulo é apresentado um recurso vital à vida, a água, e é identificado um sector que se destaca pelos seus elevados consumos dos recursos hídricos, os campos de Golfe. Posteriormente é descrita uma solução que pretende reduzir os elevados consumos hídricos dos campos de Golfe e por último é apresentada a estrutura desta dissertação.

1.1 Contexto

A água cobre perto de 70% da superfície do planeta Terra. No entanto apenas uma pequena parte pode ser usada nas atividades humanas, tornando a água um recurso escasso. Na Figura 1.1 é apresentado de que forma a água se distribui pelo nosso planeta, sendo evidente que a percentagem de água doce existente no planeta é muito reduzida, cerca de 3%. [1]

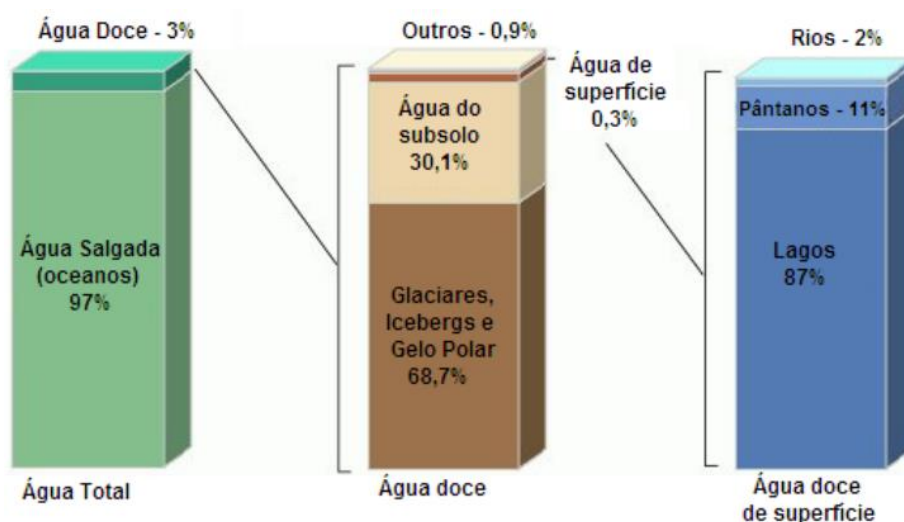


Figura 1.1: Distribuição da água no planeta Terra [1]

A água é um recurso vital que tem diminuído com o aumento da população mundial. A água é um bem imprescindível à vida no planeta Terra. A falta de água irá por em causa a sobrevivência dos ecossistemas e das espécies que habitam todo o planeta.

Hoje em dia existe uma exploração insustentável dos recursos hídricos, sendo essencial gerir o consumo destes recursos. A carência destes recursos irá provocar um aumento do preço da água ao longo dos anos.

A falta de água no Brasil tem provocado nos últimos tempos (Outubro de 2014) uma maior procura de água de garrafa nos hipermercados, tendo mesmo esgotado em alguns deles,

verificando-se um aumento de 300% no abastecimento de água através de camiões cisterna. Esta escassez já motivou a um aumento do preço da água engarrafada. [2]

De acordo com o “Programa Nacional para o Uso Eficiente de Água” a percentagem de água desperdiçada (perdas no armazenamento, transporte, distribuição e consumo) em Portugal, ainda assume valores preocupantes, como se pode ver pela Figura 1.2.

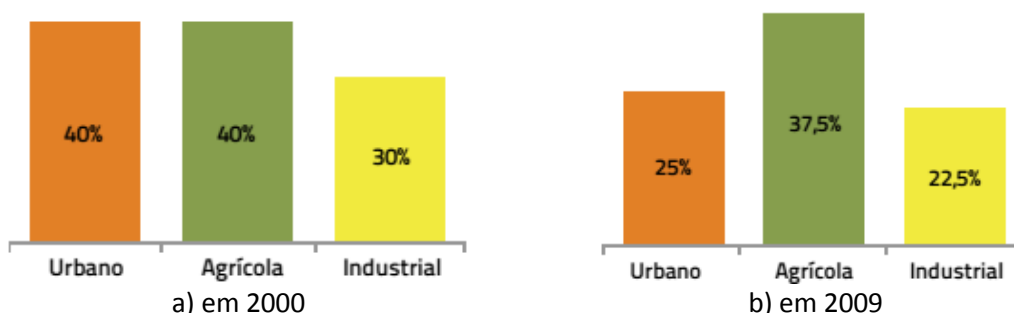


Figura 1.2: Desperdício de água em 2000 (à esquerda) e em 2009 (à direita) [3]

Apesar de haver uma redução no desperdício de água de 2000 para 2009, existe ainda uma parcela importante de desperdício, continuando assim a existir oportunidades para uma melhoria significativa do consumo de água em todos os sectores. Segundo o “Programa Nacional para o Uso Eficiente de Água” os campos de Golfe fazem parte do sector urbano, quer isto dizer, que os campos de Golfe contribuem para os 25% de água desperdiçada no sector urbano.

O uso eficiente de água diminui o seu consumo, sendo que cidadão sai beneficiado desta atitude, visto que consegue reduzir a fatura da água, sem prejudicar a qualidade de vida e de saúde do seu agregado familiar.

1.2 Problema a resolver e qual a sua importância

O objetivo da irrigação em espaços verdes (campos de Golfe ou de Futebol, jardins municipais, etc.) é garantir que a vegetação se mantenha viva e em bom estado de conservação, para que o espaço tenha a função e a estética desejada, pelo seu proprietário e projetista.

Esta dissertação está mais focada na irrigação dos campos de Golfe devido ao seu grande consumo de água, que é um dos fatores mais salientes nas críticas feitas pelas organizações ambientais. Um campo de Golfe de 18 buracos consome por dia o equivalente a uma cidade com 60 mil pessoas. Em média um campo de Golfe com 60 hectares consome por dia cerca de 2500 metros cúbicos. [4] Em Portugal existem atualmente 79 campos de Golfe [5], mesmo que nem todos sejam de 18 buracos, certamente que o consumo de água global terá valores avassaladores.

Se às grandes quantidades de água necessárias para um campo de Golfe, se incluir as práticas de irrigação inadequadas, pode-se estar perante uma ameaça ambiental.

1.3 Solução

Para se obter uma redução no consumo de água pretende-se desenvolver um sistema de Irrigação de baixo custo, que possa ser adquirido pelos grandes consumidores de água (campos de Golfe), mas que também possa ser aplicado em jardins residenciais e municipais. Este sistema inteligente será capaz de recolher a previsão meteorológica, e ainda medir um conjunto de valores (temperatura, humidade, velocidade do vento), de modo a determinar as melhores alturas e quantidades de água adequadas para a rega. Havendo apenas a necessidade de uma prévia configuração do sistema por parte do gestor de rega.

O sistema a desenvolver irá permitir o controlo e a monitorização da irrigação no campo de Golfe, este será autónomo e tomará a decisão de quando e quanto regar, de acordo com a informação recolhida dos diversos sensores e através da previsão meteorológica. Pretende-se ainda reduzir os custos associados à necessidade da diversa cablagem utilizada nestes sistemas, utilizando os novos métodos de comunicação, ou seja, comunicação sem fios.

O “Programa Nacional para o Uso Eficiente de Água” prevê um conjunto de medidas que permitem reduzir a exploração dos recursos hídricos e uma melhoria da eficiência hídrica. O programa possui algumas medidas, que são destinadas em especial aos campos de Golfe e desportivos, das quais se destaca a adequação da gestão da rega, do solo, e das espécies plantadas em campos de Golfe e desportivos, a utilização de água da chuva e da água residual tratada para irrigação dos relvados. Estas medidas serão abordadas ao longo da dissertação.

Se o utilizador possuir uma tarifa bi-horária no fornecimento da energia elétrica, também se terá em consideração esse facto, de forma a reduzir os custos relacionados com funcionamento elétrico de todo o sistema, principalmente se possuir uma estação de captação de água.

A gestão do controlo e monitorização da rega será efetuada localmente através de um computador.

1.4 Organização

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos:

- No Capítulo 1, **Introdução**, é feita uma exposição do problema existente, em torno da escassez dos recursos hídricos, identificação de um sector que necessita de elevados consumos de água e é apresentada a solução proposta para o problema identificado.
- No Capítulo 2, **Revisão do estado de arte**, apresentam-se algumas soluções científicas e comerciais existentes para reduzir os consumos de água.
- No Capítulo 3, **Protocolos de Comunicação**, são abordados alguns protocolos de comunicação utilizados para desenvolver a solução proposta.
- No Capítulo 4, **Proposta de uma nova solução**, é apresentada uma nova solução que irá permitir ao utilizador reduzir o consumo de água.
- No Capítulo 5, **Implementação da solução proposta**, é descrita a solução implementada pelo autor.
- No Capítulo 6, **Conclusões e trabalho futuro**, são apresentadas considerações sobre a solução desenvolvida e ainda sugeridas algumas evoluções futuras.

2 Revisão do estado de arte

A redução no consumo de água não é um tema recente, é um assunto que se tem vindo a desenvolver e a melhorar ao longo dos anos. Existem algumas soluções, quer no mercado quer em publicações científicas, que contribuem para uma melhor gestão dos recursos hídricos utilizados na irrigação de culturas. Ao longo deste capítulo serão apresentadas algumas soluções importantes que irão contribuir para o desenvolvimento desta dissertação.

2.1 Dissertações

Atualmente existem investigações académicas relacionadas umas com a monitorização e controlo de culturas agrícolas, e outras que exploram mais a comunicação sem fios para controlo de irrigação. De seguida serão apresentadas as soluções académicas que estão mais relacionadas com a dissertação desenvolvida.

Sistema de Monitorização de Estufas

A autora Andreia Sofia Henriques Gonçalves Abreu salienta que é do maior interesse dos proprietários de estufas medir e controlar as suas variáveis internas para conseguirem obter um crescimento mais rápido das culturas. Este controlo permite uma maior independência da estufa em relação aos parâmetros ambientais exteriores, pois o ambiente interior da estufa é controlado artificialmente. Além disso, tal controlo pode contribuir, na maioria dos casos, para uma poupança energética muito significativa.

As soluções mais convencionais usam um único ponto para efetuar as medições necessárias (temperatura, humidade do ar, etc.), esta abordagem é pouco correta uma vez que ao longo da estufa os parâmetros que se pretendem monitorizar, deixam de ser fiáveis, segundo a autora Andreia Abreu. Mas a utilização de diversos pontos de medida introduz um acréscimo do custo na instalação devido à cablagem necessária. Assim a autora desenvolveu um sistema inovador de aquisição de dados sem fios, contribuindo para uma redução dos custos de operação e um aumento da produtividade de uma estufa agrícola, utilizando diversos sensores sem o uso de cablagem.

O sistema implementado pela autora é constituído por eletrónica de condicionamento do sinal proveniente dos sensores, alimentação através da energia solar e um registo de dados num cartão de memória.

A autora refere ainda que apesar de na sua dissertação o algoritmo desenvolvido não englobar atuadores, existe uma lista do tipo de atuadores que se pode encontrar numa estufa: sistema de ventilação, sistemas de aquecimento, sistemas de sombreamento, sistemas de irrigação, entre outros.

A coluna desenvolvida, Figura 2.1, pela autora é constituída por um painel solar (alimentação), placa de *wireless*, um sensor de luminosidade, quatro sensores de temperatura e dois de humidade.

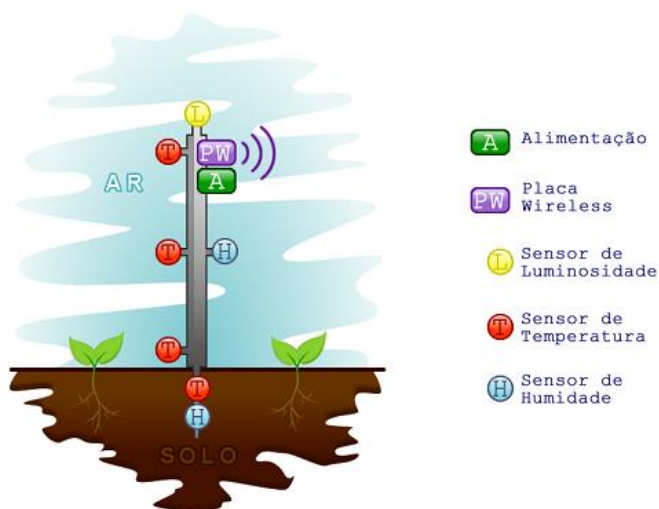


Figura 2.1: Coluna de sensores proposta pela autora Ana Abreu [6]

A comunicação sem fios é constituída pelos módulos uMRF e uMRFs¹. De forma a medir alguns parâmetros a autora selecionou:

- Um circuito integrado (DS18S20) para medir a temperatura;
- Um fotodíodo (SFH2430) para a luminosidade;
- Um sensor capacitivo para medir a humidade do ar;
- Uma matriz granular *WATERMARK*² para a humidade do solo.

A autora implementou um barramento *1-wire* para interligar os sensores ao microcontrolador e uma rede sem fios baseada no protocolo IEEE 802.15.4. [6]

Sistema de Controlo de Rega com Comunicações Sem Fios

O autor Pedro Henrique Pinto Ribeiro Marques define que o objetivo principal de qualquer sistema de rega que vise a eficiência hídrica é a poupança de água. Para esse efeito o autor Pedro Ribeiro propõe o uso de um controlador que tomará a decisão de quando regar,

¹ uMRF e uMRFs - módulos de comunicação sem fios que já possuem um microcontrolador e um transceptor IEEE 802.15.4. [6]

² É um sensor resistivo que possui um maior tempo de vida e é menos sensível à salinidade do solo. [6]

decisão essa, baseada na informação recolhida de diversas fontes. Pretende com o uso de um controlador, de sensores e limites previamente definidos, evitar uma constante intervenção por parte do operador.

Segundo o autor Pedro Ribeiro o objetivo da sua dissertação consiste no desenvolvimento de uma rede local, que permita sem fios a leitura de sensores e atuação de eletroválvulas. Na Figura 2.2 é apresentada a topologia da solução proposta pelo autor.

Para determinar quando regar recorreu à informação sobre as condições meteorológicas previstas num *site* Norueguês (temperatura, pluviosidade, etc.), no entanto de forma a haver mais precisão sobre as condições naquele próprio local foram utilizados mais sensores (humidade do solo).

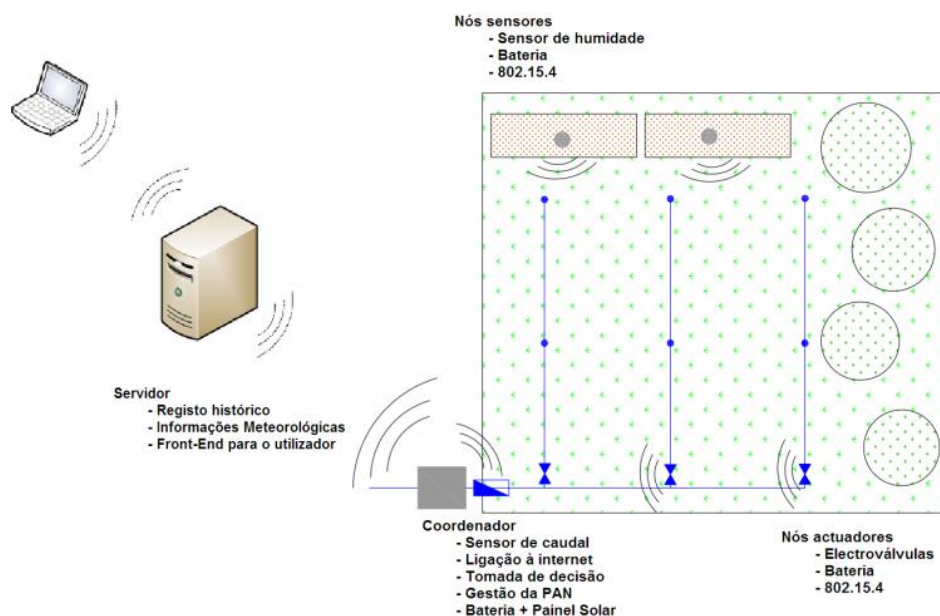


Figura 2.2: Estrutura proposta pelo autor Pedro Ribeiro [7]

Para efetuar comunicações entre um espaço verde ao ar livre e a Internet, para recolher a previsão meteorológica, o autor Pedro Ribeiro utilizou a rede de telemóveis (GPRS). No que toca à rede de sensores foram utilizados sensor de humidade do solo e um caudalímetro, nos atuadores são utilizadas eletroválvulas por impulso (íman permanente) e foi implementada uma rede sem fios (*WPAN*¹), pois é uma rede de baixo custo energético e permite contornar alguns inconvenientes associados às redes cabladas. [7]

¹ *Wireless Personal Area Network* – Rede de área pessoal sem fios.

2.2 Artigos

Existem ainda alguns artigos científico que estão relacionados com a eficiência hídrica e/ou energética, no entanto apenas será abordado um dos artigos permitiu de uma forma ou de outra, melhorar o desenvolvimento desta dissertação.

Multi-Monitorização de estufa Agrícola

Segundo os autores do artigo, Multi-Monitorização de estufa Agrícola, a agricultura tem recorrido tradicionalmente, a métodos empíricos que não rentabilizavam a produção e estavam fortemente dependente das condições meteorológicas. Para melhorar a produção agrícola, surgiram as estufas agrícolas que permitem culturas de elevado valor acrescentado. Estas permitem também a elaboração de estudos de conceitos de causa-efeito, que possibilitam a construção de modelos e sistemas para melhorar a produção e a qualidade de uma determinada colheita.

A utilização de sistemas de aquisição de dados e controlo, em estufas agrícolas, prende-se cada vez mais com a necessidade de rentabilizar recursos energético e garantir padrões de qualidade. A aplicação destes sistemas permite:

- Melhorar a fiabilidade e eficácia do sistema estufa;
- Reduzir a carga de trabalho do produtor;
- Melhorar a concordância entre as necessidades da cultura e o ambiente da estufa;
- Providenciar informação para ajudar a identificar problemas;
- Melhorar a qualidade e crescimento da colheita;
- Reduzir consumos energéticos, por unidade de produção.

Os autores salientam que o sistema proposto se destina numa primeira fase à monitorização de grandezas físicas da estufa (temperatura e humidade) e “vigia” do estado do nível do reservatório de água.

O sistema proposto, Figura 2.3, faz a aquisição, usando *hardware* com possibilidade de entradas/saídas, de sinais provenientes de sensores de temperatura e humidade instalados na estufa. Após a medição, com período de amostragem selecionável, os dados são recolhidos e armazenados na base de dados de um computador. Os *set-points* do algoritmo, controlo Proporcional Integrativo Derivativo, são definidos pelo responsável da estufa. O responsável pela monitorização da estufa é avisado sempre que ocorram anomalias nas condições ambientais (exemplo valores limite excedidos).

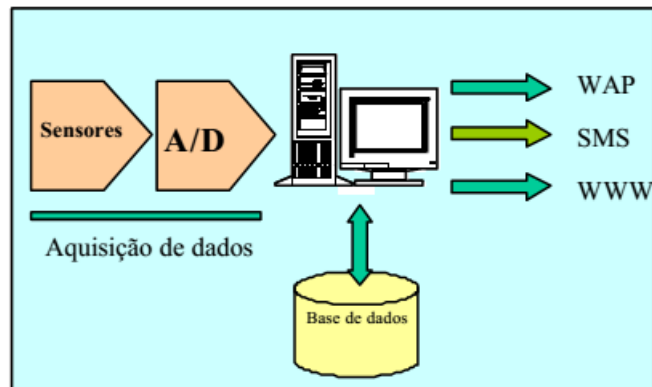


Figura 2.3: Diagrama da solução proposta pelos autores do artigo [8]

As formas como o técnico tem acesso à informação são várias. A primeira consiste no envio de mensagens SMS para o telemóvel do técnico, sempre que se verifiquem anomalias. A outra possibilidade permite ao técnico consultar numa página WEB os valores recolhidos pelo sistema de aquisição. [8]

2.3 Soluções comerciais atuais

No mercado atual existem diversas soluções comerciais que satisfazem algumas das necessidades no que toca ao controlo de rega de espaços verdes.

Hoje em dia existem diversos tipos de controladores, que vão desde as dezenas de euros até aos milhares de euros. Os controladores mais baratos normalmente funcionam por relógio, ou seja, o utilizador define previamente o horário de funcionamento do sistema de rega. Este horário pode ser escolhido para uma rega diária, semanal ou até mesmo sazonal. Contudo este tipo de controladores não funciona de acordo com as condições meteorológicas, o que origina desperdício de água e um maior custo a si associado. Nos controladores mais caros, designados por controladores inteligentes, a rega é realizada consoante a escolha do utilizador e de acordo com os dados meteorológicos, permitem ter até 200 sensores (a frequência de leitura pode variar entre os 2 e os 120 minutos) e alguns com comunicação sem fios. [9]

Atualmente no que toca a empresas ligadas a sistemas de rega inteligentes citam-se a *Gardena*, *Rain Bird*, *Hunter* e entre outras. Os controladores destas empresas têm as suas diferenças, pois umas marcas apostam mais no número de entradas (sensores) e de saídas (atuadores) que o seu produto pode fornecer, noutras existe uma melhor interface com utilizador, entre outras diferenças. Na grande maioria dos equipamentos os sensores funcionam como *ON/OFF*, isto significa por exemplo quando um sensor de humidade do ar atinge um determinado limite, não permite que o sistema de rega funcione. Apesar do sensor de humidade

ter atingido o valor previamente definido para interromper a rega, não significa que as necessidades hídricas para o desenvolvimento adequado da planta estejam cumpridas.

Gardena

A *Gardena* foi fundada em 1961, na Alemanha, esta oferece uma gama completa de tudo o que é necessário para um espaço verde (sistemas de rega, bombas, lagos de jardim, equipamento para cuidar de relvados, entre muitos outros). [10]

A *Gardena* possui diversos controladores de rega, sendo a maioria deles destinados à rega de pequenos jardins. Estes controladores possuem diversas características, como por exemplo, número de zonas de rega, duração do tempo de rega, tipo de alimentação (solar, pilhas, tomada elétrica), entre outras. [11]

Na Figura 2.4 são apresentados dois produtos bem distintos, o da esquerda deve ser instalado no sistema de distribuição de água, enquanto que o da direita pode estar instalado dentro da habitação.



a) Modelo C1060



b) Modelo 4040

Figura 2.4: Produtos da *Gardena* [11]

Na Tabela 2.1 é apresentado um quadro comparativo dos controladores da *Gardena*, o seu preço pode variar das dezenas de euros até às centenas de euros.

Tabela 2.1: Quadro comparativo dos controladores, *Gardena* [11]

	C2030	C1060 Solar	C1060	C1030	T1030	4040	4030	6030
Número de zonas	2	1	1	1	1	4	4	6
Tempo máximo por zona	3h59	9h59	9h59	7h59	120min	4h59	3h59	3h59
Sensor de humidade*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Alimentação solar	---	✓	---	---	---	---	---	---

* Possibilidade de ligar um sensor

Rain Bird

A *Rain Bird* registou a sua primeira patente em 1990, para o aspersor de impacto do Sr. Orton, este ano foi designado como um marco histórico. Ao longo dos anos já foram atribuídas à *Rain Bird* mais de 130 patentes, mantendo um ritmo elevado de inovações tecnológicas e cultivando a tradição de inovação de produto no processo. Atualmente a *Rain Bird* possui mais 30 marcas registadas que representam os seus produtos a nível mundial.

A *Rain Bird* disponibiliza diversos aspersores, eletroválvulas e controladores que são utilizados para controlar fluxos de água para espaços verdes em parques de diversões, campos desportivos, campos de Golfe, jardins botânicos, jardins residenciais e vinhas, em todo o mundo. [12]

No que diz respeito aos produtos na vertente do Golfe, a *Rain Bird*, disponibiliza uma lista de informações sobre as características dos seus produtos. [9]

Na Tabela 2.2 é apresentado um quadro comparativo de alguns dos controladores da *Rain Bird*, o preço destes equipamentos pode variar das centenas de euros até aos milhares de euros.

Tabela 2.2: Quadro comparativo dos controladores, *Rain Bird* [13]

	ESP-RZX	STP Plus	ESP Me	ESP LXMe	ESP-LXD
Número de zonas	4, 6, 8	4, 6, 9	4 a 22	4, 8, 12, 16, 20, 20, 24, 32, 48	50, 125, 200
Tempo máximo por zona	199min	4h	6h	12h	12h
Programação variável de 1 a 31 dias	---	---	✓	✓	✓
Calendário 365 dias	✓	✓	✓	✓	✓

Hunter

A *Hunter* é um dos líderes mundiais no fabrico de equipamentos de rega para jardins e campos de Golfe, a *Hunter* goza de uma reputação estabelecida como líder em inovação no sector de rega.

A *Hunter* produz uma linha completa de produtos com uso eficiente da água, para uso residencial e comercial, incluindo os seus lendários aspersores de turbina escamoteáveis, pulverizadores, eletroválvulas, controladores, controladores central e sensores meteorológicos. A *Hunter* possui mais de 250 patentes de produtos e 40 marcas registadas. O aspersor de turbina escamoteável permitiu revolucionar o sector da rega, na Figura 2.5 é apresentado um exemplo deste tipo de aspersor da *Hunter*. [14]



Figura 2.5: Aspersor de turbina escamoteável da Hunter [14]

Na Hunter é possível encontrar diversos produtos focados na rega de campos de Golfe, como por exemplo, estação meteorológica, centrais de controlo, *software*, etc. [15]

Esta empresa possui um *software*, “Sistema profissional de manutenção de Golfe”, designado por “Surveyor 2”. Este permite dois tipos de gestão, uma delas otimiza o fluxo de água, enquanto a outra é gerida pelo utilizador (designado por FCP - *Field Controller Program*). Quando seleccionada a otimização do fluxo, o programa gere o consumo elétrico e hídrico de forma eficiente para garantir que o período de rega seja o mais curto possível. Enquanto no modo FCP o utilizador tem um controlo total de quando, quanto e quais as zonas a regar. O *software* cria programas de rega que depois são enviados para o local onde os controladores fazem a rega. [16]

Na Figura 2.6 é possível visualizar um exemplo da janela do *software* “Surveyor 2”.

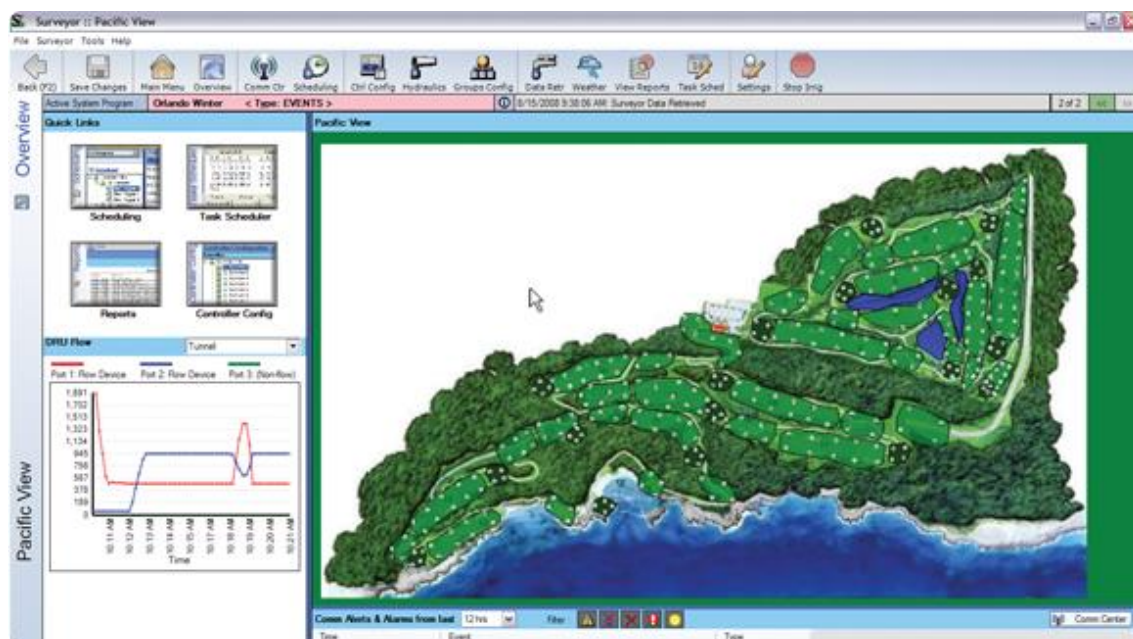


Figura 2.6: Janela do *software* “Surveyor 2” [16]

No que toca a centrais de controlo esta empresa possui diversos produtos. [17] Estes produtos variam consoante o número de zonas de rega, caracterização física (modular ou fixa), número de programas, número máximo de programas em simultâneo, entre outras características. Na Tabela 2.3 é apresentado um quadro comparativo de alguns dos controladores da Hunter.

Tabela 2.3: Quadro comparativo dos controladores, Hunter [17]

	ECO LOGIC	X-CORE	PRO-C	PCC	I-CORE	ACC	XC-HYBRID	NODE	WVS
Número de zonas	4, 6	2, 4, 6, 8	3 a 15	6, 12	Até 48*	Até 99*	6, 12	1, 2, 4, 6	1, 2, 4
Tipo	Fixo	Fixo	Modular	Fixo	Modular	Modular	Fixo	Fixo	Fixo
Controlo Remoto**	---	✓	✓	✓	✓	✓	---	---	---
Sensor de fluxo**	---	---	---	---	✓	✓	---	---	---
Sensor de chuva**	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Número de entrada de Sensores	1	1	1	1	(2 ou 3)***	4	1	1	1
Tempo máximo por zona (horas)	4	4	6	6	12	6	4	6	4
Preço máximo sem IVA (€) [18]	---	175	430	---	1419	3315	260	250	---

* Com descodificadores

** Compatibilidade

*** Depende do tipo de material com que é construído

2.4 Caracterização de um relvado

A redução do consumo de água num campo de Golfe centra-se no método de irrigação, que permite adequar a rega às condições meteorológicas, sem que esta prejudique a vida da planta. Contudo para reduzir ainda mais o consumo de água é essencial que a relva seja a adequada ao clima, que o solo possua uma boa capacidade de retenção de água, bem como ter em consideração alguns métodos de irrigação que permitem prolongar a vida da planta.

Tipos de Relva

Num campo de Golfe pretende-se que o relvado esteja sempre com uma boa apresentação, ou seja, sem falhas e com um aspeto verde. Uma escolha correta do tipo de relva poderá trazer uma redução de custos ao nível de manutenção, bem como uma redução no consumo de água. O consumo de água nos campos de Golfe é um dos fatores mais salientes nas críticas feitas pelas organizações ambientais, seguindo-se da utilização de fertilizantes e pesticidas.

As várias espécies de relva integram-se na família das gramíneas, sendo utilizadas em campos de Golfe, apenas uma pequena parcela das cerca de 10000 espécies que constituem a família das gramíneas. Dentro desta pequena parcela existem características que distinguem as plantas, principalmente no que diz respeito à adaptação estacional. Em cada estação do ano há

um consumo de água e azoto diferente, e existe ainda uma variação brusca da temperatura a que podem estar sujeitas as plantas.

Entre as gramíneas podem encontrar-se espécies do tipo C3 e C4. Nos campos de Golfe utilizam-se ambos os tipos, sendo as do tipo C3 vulgarmente designadas por relvas de frio e as C4 por relvas de calor.

Relvas de frio (C3):

- *Lolium perenne*;
- *Agrostis palustris*;
- *Stenotaphrum secundatum*;
- *Festuca arundinaceae*.

Relvas de calor (C4):

- *Cynodon dactylon*;
- *Cynodon transvaalensis*;
- *Paspalum vaginatum*;
- *Paspalum dilatatum*;
- *Buchloe dactyloides*;
- *Zoysia japonica*;
- *Paspalum notatum*;
- *Paspalum distichum*;
- *Eremochloa ophiuroides*.

Os relvados das regiões tropicais são constituídos principalmente por gramíneas C4, pois estas apresentam uma maior resistência à seca e uma maior eficiência no uso de água.

Em Portugal, principalmente no Centro e Sul do País, há uma maior eficiência no uso de água e resistência à seca por parte das plantas C4. A espécie *Paspalum dilatatum* cresce em Portugal durante todo o ano e adapta-se a baixas temperaturas, pode ser uma espécie a explorar nos campos de Golfe. [19]

Tipo de Solo

O consumo de água num campo de Golfe pode ser reduzido escolhendo uma planta adequada ao clima e ainda melhorando as características do solo, mais concretamente na capacidade deste reter água.

Um campo de Golfe pode ser construído em qualquer localidade, desde que as condições do solo assim o permitam, para existirem condições para um bom crescimento e desenvolvimento da planta. Alguns solos poderão não possuir capacidade de armazenamento de água ou até mesmo fraca infiltração, o que seria necessário proceder a alterações para melhorar as suas características. Uma das alterações do solo consiste em adicionar substratos que melhorem as características destes.

Um substrato é um suporte para o desenvolvimento das raízes, capaz de fornecer à planta elementos nutritivos e a água que necessita. De seguida são apresentados alguns dos substratos mais utilizados:

- Vermiculite (aumenta a retenção de água);
- Turfa (retém muita humidade);
- Fibra de Coco;
- Perlite;
- Lã de Rocha (Elevada capacidade de retenção e arejamento);
- Casca de Pinheiro (Aumenta a capacidade de retenção de água);
- Ecoespuma (Capacidade de retenção de água de 60%);
- CH (Capacidade de retenção, boa drenagem e arejamento). [20]

A ecoespuma pode ser instalada em relvados já existentes ou na construção de novos relvados. Para recuperar o crescimento do relvado é utilizado o método da injeção para introduzir a ecoespuma no solo. Na Figura 2.7 é possível visualizar a aplicação da ecoespuma por injeção.



Figura 2.7: Aplicação da ecoespuma por injeção [21]

A instalação da ecoespuma permite uma rápida recuperação do relvado, como se pode ver pela Figura 2.8, após a injeção da ecoespuma, 16 semanas mais tarde a relva está mais desenvolvida e apresenta um melhor aspeto.



Figura 2.8: Injeção da ecoespuma no solo, evolução ao fim de 16 semanas (à direita) [20]

A instalação de ecoespuma em novos relvados é realizada por camada antes da sementeira da relva, Figura 2.9.



Figura 2.9: Aplicação da ecoespuma por camada [20]

Atuadores

Regra geral quase todos os sistemas de controlo e monitorização são compostos por sensores e atuadores. Num sistema de controlo de irrigação os atuadores são composto maioritariamente por eletroválvulas, podendo em alguns casos controlar também adição de nutrientes na água que permitem um melhor desenvolvimento da planta e o aumento da capacidade de resistência em relação a doenças e infestações por pragas.

As eletroválvulas permitem abrir e fechar a conduta de água, existem fundamentalmente três tipos de eletroválvulas:

- As eletroválvulas **AC** necessitam de uma corrente alternada para mudarem de estado, ou seja, para permitirem o curso de água, uma vez que em repouso estão “normalmente fechadas”;
- As eletroválvulas **DC** possuem um funcionamento idêntico às anteriores, contudo como o próprio nome indica necessitam de uma corrente contínua;

- As eletroválvulas **por impulso** necessitam de um impulso de corrente para mudarem de estado. A polaridade do impulso é que irá abrir ou fechar a válvula. Estas também são designadas por eletroválvulas de íman permanente, esta característica permite que a eletroválvula permanece no mesmo estado, mesmo depois do impulso terminar. Este tipo de eletroválvulas possuem uma melhor eficiência energética, visto que só é necessário fornecer um impulso de corrente quando se pretende mudar de estado (abrir ou fechar a válvula). Na Figura 2.10 é apresentado um exemplo de uma eletroválvula por impulso da *Rain Bird*.



Figura 2.10: Eletroválvula por impulso (modelo LFV-075-9V) da *Rain Bird* [13]

Quando se aciona a eletroválvula para abrir a conduta de água dá-se início ao processo de rega. Normalmente nos campos de Golfe a rega é realizada à superfície, neste tipo de rega os equipamentos estão instalados ao nível do relvado. [22] Na rega à superfície os equipamentos mais utilizados são:

- Pulverizadores;
- Aspersores;
- Bicos Giratórios;
- Canhões de retorno lento (destinados a rega de grandes dimensões).

Na Figura 2.11 são apresentados os equipamentos de rega apresentados acima.



Pulverizadores



Aspersores



Bicos Giratórios



Canhões

Figura 2.11: Equipamentos de rega [13]

Sensores

Para tomar a melhor decisão de quando e quanto regar é necessário que o sistema possua um conjunto de sensores que permitam obter a informação das condições meteorológicas.

Um dos sensores que é quase obrigatório ter num sistema inteligente de rega é o sensor de chuva, pois nenhum gestor de rega pretende que haja desperdício de água num dia em que esteja a chover. Este tipo de sensor permite cancelar a rega automática quando o sensor atinja um determinado nível de precipitação, por exemplo o sensor da Figura 2.12.



Figura 2.12: Sensor de chuva (modelo RSD-BEX) da *Rain Bird* [13]

Atualmente já existem estações meteorológicas que permitem medir diversos parâmetros: temperatura do ar, velocidade do vento, radiação solar, direção do vento, humidade relativa, sensor de medição de chuva, como é o caso da estação meteorológica da *Rain Bird*, Figura 2.13.



Figura 2.13: Estação meteorológica da *Rain Bird* [13]

Um dos sensores que também pode ser implementado é o sensor de caudal, este tipo deve ser instalado na entrada de água que fornece a irrigação do campo de Golfe. O sensor de caudal irá permitir determinar o consumo e o custo de água do sistema de irrigação, bem como determinar possíveis fugas de água quando sistema de rega estiver totalmente desligado. Na Figura 2.14 é apresentado um sensor de caudal da *Rain Bird*.



Figura 2.14: Sensor de caudal da *Rain Bird* [13]

Reservatórios de Água

Uma das possibilidades para reduzir a exploração dos recursos hídricos do subsolo, é utilizar as águas da chuva para sistemas de irrigação, contudo é necessário que exista um grande reservatório para armazenamento de água. O reservatório pode ser à superfície ou subterrâneo, de preferência que seja coberto de modo a reduzir as perdas de água por evaporação.

Os campos de Golfe necessitam de grandes quantidades de água, por isso o reservatório teria de ter uma grande capacidade. Assim a nível estético seria melhor optar por um reservatório subterrâneo, em vez de superfície devido às suas grandes dimensões. Outra opção seria armazenar a água em lagos naturais ou artificiais dos próprios campos, tendo a vantagem de embelezamento e a desvantagem de perdas por evaporação. Na Figura 2.15 é possível ver um exemplo de uma reserva de água para os campos de Golfe, neste caso em Monte Rei.



Figura 2.15: Reserva de água para um campo de Golfe [23]

Apesar desta medida reduzir a exploração dos recursos hídricos, surgem algumas dificuldades no que toca à sua implementação, uma vez que para satisfazer as necessidades hídricas de um campo de Golfe, seria necessário um grande reservatório, visto que nas alturas em que chove menos é quando é necessário uma maior quantidade de água e a construção de um

grande reservatório de água seria um custo bastante elevado. No Gráfico 2.1 é possível verificar que no verão existe uma queda acentuada da precipitação face às restantes estações do ano.

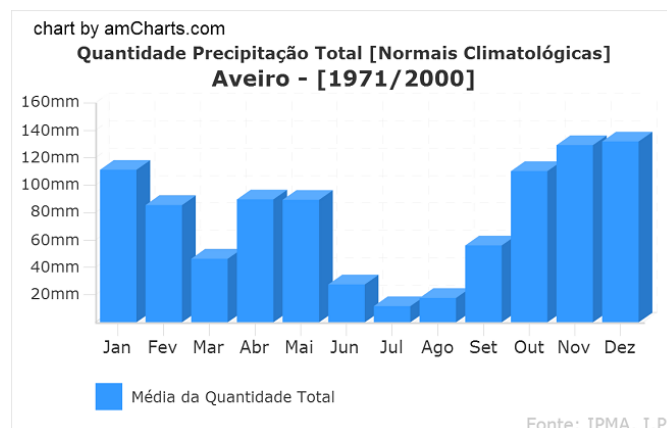


Gráfico 2.1: Variação da Precipitação em Aveiro [24]

Através do Gráfico 2.1 é possível constatar que a quantidade de precipitação varia ao longo do ano, logo o tempo de rega também deve variar ao longo do ano, e nunca ser constante como acontece em muitos casos. As necessidades hídricas da planta devem ser calculadas diariamente, de modo a evitar desperdícios de água em caso de rega excessiva ou em caso de seca provocar a morte da planta.

Caso o gestor opte por criar um reservatório de água residual, e utilize esta água não potável para regar o campo de Golfe é necessário que todos os equipamentos, que estão em contacto com as águas residuais, sejam pintados de cor roxa segundo a NP 4434:2005. Na Figura 2.16 é apresentado um aspersor de água residual da *Hunter* que possui uma tampa de cor roxa (identifica que é água não potável).



Figura 2.16: Aspersor de rega de água residual da *Hunter* [17]

A Norma Portuguesa NP 4434:2005 define um conjunto de regras que devem ser cumpridas na reutilização de águas residuais urbanas tratadas para rega.

Boas práticas

Ao longo dos anos a ciência e o conhecimento Humano têm contribuindo para uma melhoria contínua dos métodos de rega, de seguida é apresentada uma lista de boas práticas a ter em atenção na irrigação das plantas:

- Regar de preferência pela manhã, se regar ao meio do dia ou à tarde, será como não tivesse regado porque a água irá evaporar rapidamente. Se regar à noite, a água mantém-se sobre a planta e folhas durante demasiadas horas, o que pode aumentar a probabilidade de surgirem doenças nas plantas.
- A quantidade de água a depositar depende muito do solo, do tipo de planta e com as condições meteorológicas.
- Regar apenas quando não tiver vento. O vento é um dos inimigos para obter uma rega eficiente porque o vento desvia a água do seu destino, a planta e solo. O vento também contribui para que o solo seque mais rapidamente, ou seja, com o vento há uma rega pouco eficiente e um maior desperdício de água.
- Realizar a rega somente quando for necessário, monitorizar o nível de humidade no solo, instalando sensores de humidade distribuídos pelo campo, de forma a determinar as necessidades hídricas da planta;
- Realizar uma manutenção preventiva e corretiva a todo o sistema de irrigação. [25]

Para se determinar a quantidade de água necessária para regar, é necessário avaliar a quantidade de água perdida por evapotranspiração¹. O valor da evapotranspiração é influenciado pela velocidade do vento e pela temperatura do ar. [26]

2.5 Tarifas bi-horárias elétricas

Na irrigação dos campos de Golfe existem diversos equipamentos que necessitam de energia elétrica para funcionarem. A potência exigida pelos equipamentos pode variar desde dos mili-watts (indicadores luminosos) até às dezenas de kilo-watts (bombas de água). Quando se associa o consumo global dos equipamentos elétricos com o preço do kilo-watt por hora, poderá surgir uma fatura elétrica bastante pesada para qualquer cliente de energia.

As entidades fornecedoras de energia elétrica dispõem de tarifários bi-horários e tri-horários, onde o preço do kilo-watt por hora varia consoante a hora mais barata ou mais cara. No

¹ Evapotranspiração - a perda de água do solo por evaporação mais a perda de água da planta por transpiração.

bi-horário a hora mais barata é designada por “hora de vazio”, enquanto as restantes por “fora de vazio”. No caso do tri-horário as horas mais caras estão divididas em “horas de ponta” e “horas de cheias”. É aconselhado que apenas nas “horas de vazio” se utilizem os aparelhos que exigem um maior consumo energético, contribuindo assim para uma maior poupança.

Os tarifários bi-horário e tri-horário estão divididos em ciclo diário ou semanal. O semanal possui 76 horas “de vazio” por semana, enquanto o diário tem 70 horas. No ciclo diário não se faz distinção entre dias de semana ou fim de semana, existindo sempre 10 horas “de vazio” por dia. No ciclo semanal durante a semana existem 7 horas “de vazio” por dia, aos sábados existem 17 horas e aos domingos é todo o dia “em vazio”.

Ao longo do ano civil ainda existe uma distinção entre o horário de inverno e de verão, o que origina pequenas alterações nos horários das tarifas. Na Figura 2.17 é apresentado um quadro dos horários para Baixa Tensão Normal, fornecido pela empresa EDP. [27]

horário de Inverno		horário de Verão	
ciclo semanal 76 Horas			
segunda a sexta			
ponta	das 09:30 às 12:00 das 18:30 às 21:00		das 09:15 às 12:15
	das 07:00 às 09:30		das 07:00 às 09:15
cheias	das 12:00 às 18:30 das 21:00 às 24:00		das 12:15 às 24:00
vazio	das 00:00 às 02:00 das 06:00 às 07:00		das 00:00 às 02:00 das 06:00 às 07:00
supervazio	das 02:00 às 06:00		das 02:00 às 06:00
sábados			
cheias	das 09:30 às 13:00 das 18:30 às 22:00		das 09:00 às 14:00 das 20:00 às 22:00
	das 00:00 às 06:00		das 00:00 às 02:00
vazio	das 06:00 às 09:30 das 13:00 às 18:30 das 22:00 às 24:00		das 06:00 às 09:00 das 14:00 às 20:00 das 22:00 às 24:00
supervazio	das 02:00 às 06:00		das 02:00 às 06:00
domingos			
vazio	das 00:00 às 02:00 das 06:00 às 24:00		das 00:00 às 02:00 das 06:00 às 24:00
supervazio	das 02:00 às 06:00		das 02:00 às 06:00
ciclo diário 70 Horas			
ponta	das 09:00 às 10:30 das 18:00 às 20:30		das 10:30 às 13:00 das 19:30 às 21:00
	das 08:00 às 09:00		das 08:00 às 10:30
cheias	das 10:30 às 18:00 das 20:30 às 22:00		das 13:00 às 19:30 das 21:00 às 22:00
vazio normal	das 06:00 às 08:00 das 22:00 às 02:00		das 06:00 às 08:00 das 22:00 às 02:00
supervazio	das 02:00 às 06:00		das 02:00 às 06:00

Figura 2.17: Horário Baixa Tensão Normal (Distribuidor de energia: EDP) [27]

O custo elétrico associado à rega dos campos de Golfe pode ser reduzido significativamente, se houver uma boa gestão que relacione os períodos de rega com as tarifas

mais baratas. De seguida será apresentado um pequeno exemplo, onde se poderá notar uma poupança significativa na fatura energética, variando apenas a tarifa elétrica.

Uma vez que não se sabe o valor exato da potência aparente contratada por um campo de Golfe à distribuidora EDP, assumiu-se uma potência contratada de 20,7KVA (corresponde a 30A por fase) e estimou-se um consumo constante de 5 kilo-watt por hora. Este valor é um erro grosseiro, uma vez que o consumo não é regular ao longo do dia, mas o objetivo é apenas demonstrar que a mudança de tarifas pode significar uma poupança a curto e longo prazo. Na Tabela 2.4 é apresentado o custo do kilo-watt por hora associado a cada tarifa, imposto pelo fornecedor EDP.

Tabela 2.4: Preço do KWh para uma Potência Aparente entre 6,9 e 20,7 KVA [28]

Energia		€/KWh
Tarifa Simples		0,1543
Tarifa bi-horária	Horas fora de Vazio	0,1821
	Horas de Vazio	0,0955
Tarifa tri-horária	Horas de Ponta	0,2066
	Horas de Cheias	0,1642
	Horas de Vazio	0,0955

No Gráfico 2.2 é apresentado como varia o custo energético anual variando apenas as tarifas (no ciclo diário) e mantendo um consumo constante ao longo do dia. O custo anual foi calculado em função do número de horas “em vazio” e “fora de vazio” ao longo do dia, multiplicando pelo respetivo preço de cada hora, somando ambos os resultados e por fim multiplicando por 365 dias. Facilmente se percebe que existe uma poupança significativa da tarifa simples para a bi-horária, que rondará os 11200€ no final do ano. Entre a tarifa simples e tri-horária ainda existe uma maior discrepância, cerca de 15800€.

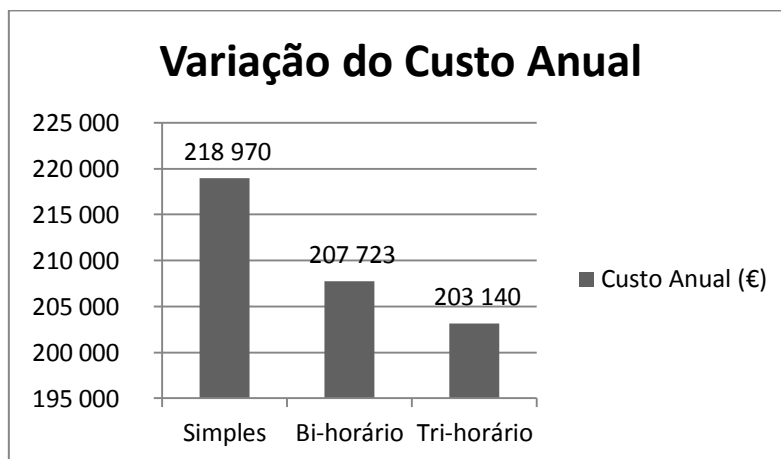


Gráfico 2.2: Variação do Custo Anual de acordo com a tarifa respetiva

Na realidade estas poupanças poderão não ser assim tão significativas, uma vez que existem diversos equipamentos (televisores, computadores, frigoríficos, fornos elétricos, etc.) que têm uma maior utilização por parte dos utilizadores, durante o período diário do que durante o período noturno (que origina o consumo irregular ao longo do dia). Só é possível poupar se houver uma gestão energética, se utilizar sempre os equipamentos de maior consumo nas horas mais caras, a fatura até poderá aumentar.

Assim ao proceder à irrigação nas “horas de vazio” contribuirá para uma redução na faturação mensal.

3 Protocolos de Comunicação

Na nova solução proposta, que será apresentada no capítulo 4, é necessário que haja uma comunicação que seja entendida por todos os equipamentos. A comunicação é essencial nesta nova solução, esta permite ao sistema controlar e monitorizar todos os elementos que constituem esta solução.

Neste capítulo são descritas as principais características de dois protocolos de comunicação utilizados na implementação da solução proposta.

Ao longo da presente dissertação serão adicionadas novas funcionalidades a um dos protocolos, desta forma é conveniente efetuar uma introdução a cada um dos protocolos utilizados.

3.1 RS-232

No início de 1960, um comitê de padrões, hoje conhecida como a *Electronic Industries Association*, desenvolveu um protocolo de comunicação que permite que os equipamentos comuniquem através da troca de dados digitais. [29]

A comunicação pode ser síncrona ou assíncrona, na comunicação assíncrona não existe um sinal de relógio externo, desta forma os dados podem ser transmitidos em intervalos irregulares. O tempo de envio de cada *bit* varia com a taxa de transferência (*baud rate*), ou seja, quanto maior for a taxa de transferência, menor será o tempo de envio de cada bit. O protocolo prevê várias taxas de transferência, desde 150 a 115200 *bits* por segundo. Com o aumento da taxa de transferência a distância máxima entre equipamentos diminui.

Nesta comunicação existe três tipos de diálogo, que são o “*simplex*” (apenas um equipamento pode enviar e o outro apenas pode receber), “*half duplex*” (dois equipamentos podem enviar e receber, mas não em simultâneo) e “*full duplex*” (dois equipamentos podem enviar e receber em simultâneo).

Na transmissão da mensagem podem existir erros nos dados a receber, devido a interferências eletromagnéticas ou até mesmo uma anomalia no sistema de transmissão, por este motivo, o protocolo prevê o envio de um *bit* paridade. O *bit* de paridade é gerado e adicionado automaticamente pelo emissor, e depois é analisado pelo recetor. Para que a deteção de possíveis erros seja realizada com sucesso, os equipamentos têm que ser previamente configurados para utilizarem o mesmo *bit* de paridade “par” ou “impar”. Se o *bit* de paridade for

configurado para ser “par”, quando se envia um *byte* é analisado o número de *bits* a “um” desse *byte*, se o número de “uns” for ímpar, nesse caso o *bit* de paridade gerado seria “um”. Caso o número de “uns” for par, o *bit* de paridade adicionado seria “zero”. Quando o recetor recebe uma mensagem (um *byte*), este também gera um *bit* de paridade. O *bit* de paridade gerado tem que corresponder ao *bit* de paridade recebido, caso contrário houve erro na transmissão do *byte*.

Assim cada palavra série enviada é composta por um “*start bit*”, 7 ou 8 *bits* de dados, um *bit* de paridade (opcional) e um “*stop bit*”. O “*start bit*” corresponde à aplicação de uma tensão positiva e o “*stop bit*” à aplicação de uma tensão negativa. [30]

3.2 Modbus

O protocolo *Modbus* foi proposto pela empresa *Modicon* na década de 1970, para permitir a comunicação entre os seus autómatos. A atual controladora da *Modicon*, *Schneider Electric*, transferiu os direitos do protocolo para a *Modbus Organization* em 2004. A partir desse ano o protocolo passou a ser público, o que permite a sua utilização livremente. [31]

Este protocolo não define nenhum meio físico específico, mas os equipamentos que utilizarem este protocolo para transmitir mensagens *Modbus* entre eles, têm de implementar também um protocolo de comunicação como *RS-232*, *RS-485*, *Ethernet* ou outro. No caso das comunicações série assíncronas *RS-232* e *RS-485*, o protocolo define uma estrutura centraliza-se no tipo *Master/Slave*. No caso da *Ethernet* é utilizado a estrutura *TCP/IP* para a comunicação entre dispositivos (*Modbus TCP*). [32]

Quando dois ou mais equipamentos tentarem enviar dados em simultâneo podem ocorrer colisões de dados na comunicação, por isso surgiu o tipo *Master/Slave*. Neste tipo apenas um dos equipamentos assume o papel de *Master* e só ele pode enviar dados para todos os outros equipamentos, sempre que pretender. Os outros equipamentos são designados por *Slaves*, estes só podem enviar dados quando é realizado um pedido prévio por parte do *Master*.

Cada *byte* da mensagem *Modbus* é enviado nos 8 *bits* de dados de cada palavra série. A palavra série é composta por um “*start bit*”, 8 *bits* de dados, um *bit* de paridade (opcional) e um “*stop bit*”.

Um pacote de dados *Modbus* é composto por vários campos: Endereço, Função, Dados e *CRC*. As mensagens *Modbus* podem ser de dois tipos: *RTU (Remote Terminal Unit)* ou *ASCII*. No caso do modo *RTU* cada *byte* da mensagem *Modbus* é codificado em 8 *bits*, na Figura 3.1 é apresentada a estrutura da mensagem deste modo.

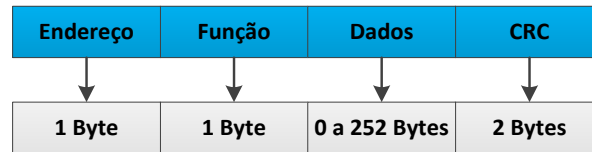


Figura 3.1: Mensagem *Modbus* em modo *RTU*

No caso do *ASCII* cada número hexadecimal é codificado em *bits* de acordo com a tabela *ASCII*, ou seja, para enviar o número “15” em hexadecimal é necessário enviar dois *bytes*, o primeiro em relação ao “1” que em *ASCII* é “00110001” (representação binária) e o número “5” em *ASCII* é “00110101” (representação binária). Assim o tempo de transmissão de um pacote de dados, no modo *ASCII* é o dobro em relação ao modo *RTU*, uma vez que são enviados o dobro dos *bytes*. Na Figura 3.2 é apresentada a estrutura da mensagem do modo *ASCII*. Conforme o ilustrado na Figura 3.2, a mensagem é iniciada pelo caracter “:” (“00111010” em binário), e é rematada pelos caracteres “CR” – *Carriage Return* (“00001101” representação binária) e “LF” – *Line Feed* (“00001010” representação binária). [33]

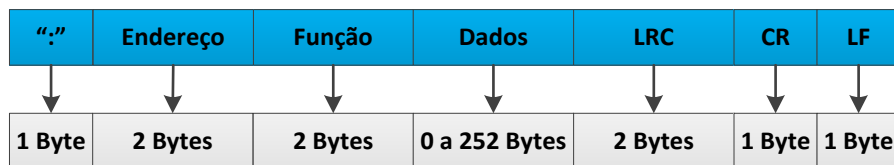


Figura 3.2: Mensagem *Modbus* em modo *ASCII*

O campo “Endereço” define o endereço do equipamento a quem se destina a mensagem. Este é codificado em 8 *bits*, o que permite obter 255 endereços, sendo que alguns deles estão reservados. O campo “Função” define qual é o objetivo de uma mensagem, em grosso módulo estas funções baseiam-se em leitura e escrita de dados, na Figura 3.3 é ilustrado uma lista das funções previstas no *Modbus*.

				Function Codes		(hex)	Section
				code	Sub code		
Data Access	Bit access	Physical Discrete Inputs	Read Discrete Inputs	02		02	6.2
		Internal Bits Or Physical coils	Read Coils	01		01	6.1
			Write Single Coil	05		05	6.5
			Write Multiple Coils	15		0F	6.11
	16 bits access	Physical Input Registers	Read Input Register	04		04	6.4
			Read Holding Registers	03		03	6.3
		Internal Registers Or Physical Output Registers	Write Single Register	06		06	6.6
			Write Multiple Registers	16		10	6.12
			Read/Write Multiple Registers	23		17	6.17
			Mask Write Register	22		16	6.16
			Read FIFO queue	24		18	6.18
	File record access	Read File record		20		14	6.14
		Write File record		21		15	6.15
Diagnostics			Read Exception status	07		07	6.7
			Diagnostic	08	00-18,20	08	6.8
			Get Com event counter	11		0B	6.9
			Get Com Event Log	12		0C	6.10
			Report Server ID	17		11	6.13
			Read device Identification	43	14	2B	6.21
Other		Encapsulated Interface Transport		43	13,14	2B	6.19
		CANopen General Reference		43	13	2B	6.20

Figura 3.3: Descrição das funções *Modbus* [32]

O protocolo *Modbus* prevê duas gamas de funções que podem ser criadas pelos utilizadores, na Figura 3.4 é possível ver as gamas (65 a 72; 100 a 110) que estão disponíveis para livre utilização.

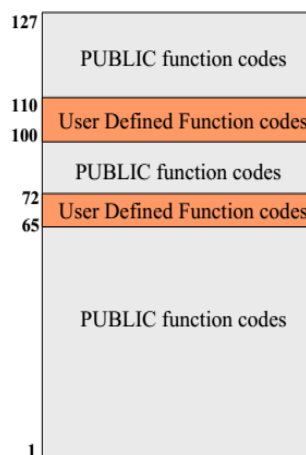


Figura 3.4: Categorias das funções *Modbus* [32]

Com o objetivo de evitar que as mensagens sejam recebidas com erros, o *Modbus* obriga a utilização de sistemas que permitem verificar a integridade dos dados, o *Modbus RTU* utiliza o *CRC16* (*Cyclic Redundancy Check*) enquanto o *ASCII* utiliza o *LRC* (*Longitudinal Redundancy Check*). Para o cálculo do *CRC* e do *LRC* são utilizados os campos Endereço, Função e Dados. [33]

4 Proposta de uma nova solução

Neste capítulo pretende-se dar a conhecer a estrutura da nova solução proposta sem entrar em detalhes profundos. O principal conceito desta dissertação consiste no controlo e monitorização da irrigação dos campos de Golfe, oferecendo ao gestor a possibilidade de automatizar o sistema de irrigação, contribuindo para uma redução dos recursos hídricos.

Esta solução destaca-se das soluções apresentadas no capítulo 2 - Revisão do estado de arte, uma vez que a comunicação sem fios permite reduzir as escavações no terreno, é realizada uma recolha de informação meteorológica com recurso à *Internet* e esta solução poderá ainda ser implementada em sistemas já existentes, utilizando os equipamentos que existem no terreno (sensores e atuadores). A comunicação sem fios evita a necessidade de abertura de valas para instalação ou reparação da cablagem de comunicação, impede ainda possíveis acidentes de jardinagem que possam existir. Contudo é sempre necessário a instalação de vias de alimentação dos sensores e dos atuadores.

A nova solução será constituída por uma unidade de controlo e coordenação, designada por *Master* e por diversas estações que recebem os pedidos enviados pelo *Master*, estas estações são designadas por *Slaves*. Esta nova solução prevê ainda uma interface local que irá permitir ao utilizador/gestor da irrigação do campo de Golfe, uma gestão e monitorização de todo o sistema de Irrigação, podendo seleccionar as zonas do campo a regar, receber toda a informação dos diversos sensores e ainda gravar de forma automática todo o histórico de operações numa base de dados. Na Figura 4.1 é apresentado o Diagrama de Blocos que permite visualizar a estrutura da nova solução proposta.

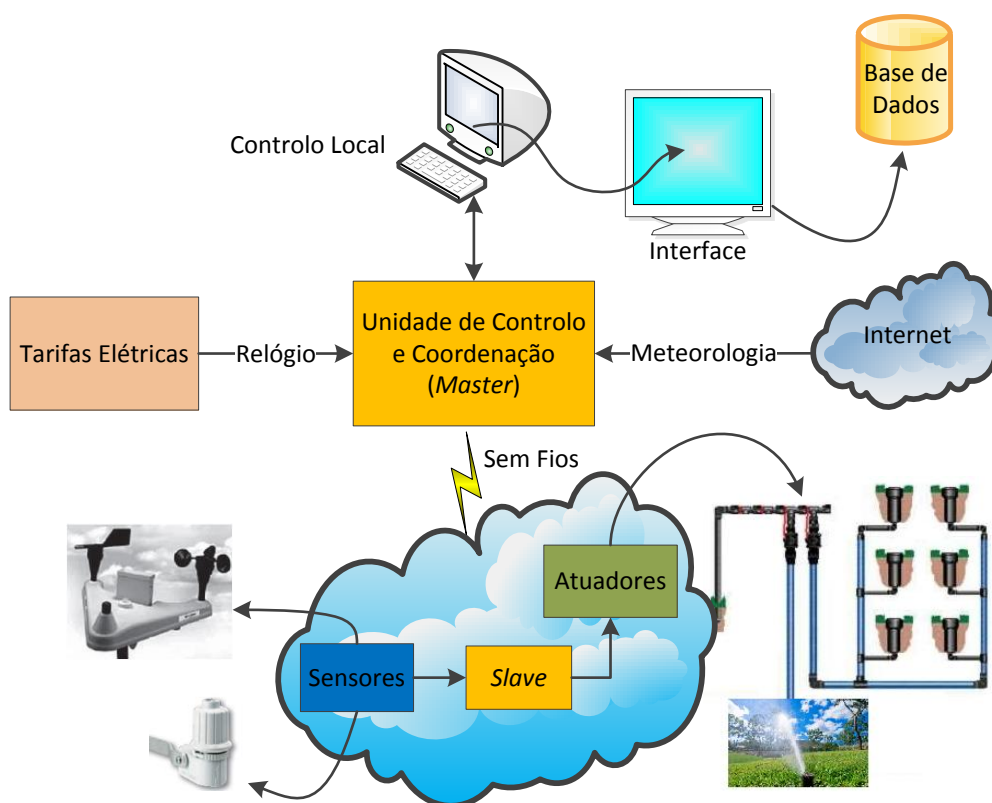


Figura 4.1: Estrutura da nova solução proposta

O *Master* será o responsável por recolher a informação provenientes dos diversos sensores espalhados pelo campo de Golfe, e após o tratamento e processamento da informação, irá enviar as devidas ordens para os *Slaves* para que haja uma boa gestão da irrigação. O *Master* poderá ainda receber informação das previsões meteorológicas e ainda o horário de rega ideal segundo as tarifas elétricas em vigor.

O *Slave* estará encarregue de tratar as ordens enviadas pelo *Master* e assim atuar sobre as eletroválvulas ou enviar uma leitura de todos os sensores presentes em cada *Slave*. As eletroválvulas permitem ligar/desligar os diversos sectores de rega do campo de Golfe. Os sensores instalados no terreno, juntamente com a previsão meteorológica, permitem determinar as necessidades hídricas da planta. Os sensores podem ser diversos, como por exemplo sensores de temperatura, humidade do ar, humidade do solo, velocidade do vento, entre outros.

4.1 Organização da solução

Esta solução baseia-se numa topologia em estrela, conforme se pode verificar pela Figura 4.1. Uma topologia em estrela ao invés de em árvore ou em malha, deve-se ao facto que toda a informação passa pela unidade central, sendo esta uma das características do protocolo que se

pretende implementar na comunicação existente nesta solução, isto é, o protocolo *Modbus*. Na Figura 4.2 são apresentados três tipos de topologias que se poderiam adotar.

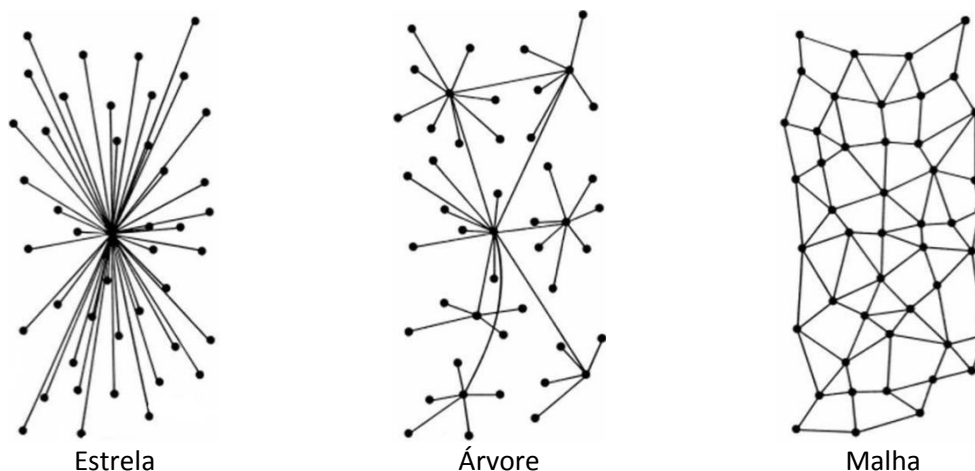


Figura 4.2: Três tipos de topologias de redes [34]

Uma topologia em estrela permite um melhor controlo global do sistema, uma vez que só um equipamento, o *Master*, é que toma a iniciativa de enviar mensagens, todos os outros apenas respondem os pedidos do *Master*, reduzindo assim a probabilidade de haver colisões na comunicação. Este tipo de topologia também irá permitir uma melhor gestão do histórico de comunicações durante as operações, visto que toda a informação é direcionada para o mesmo equipamento.

Contudo uma topologia em estrela causa dependência no funcionamento da unidade central, caso exista uma falha na unidade central irá provocar uma rutura total de comunicação, sendo esta uma das desvantagens face à topologia em malha, visto que cada equipamento tinha várias rotas alternativas de comunicação.

4.2 Unidade Central/*Master* e *Slaves*

No que diz respeito à triagem/seleção do equipamento a implementar quer no *Master*, quer restantes *Slaves*, houve algumas considerações que se tiveram de ter em conta:

- O equipamento tem de possuir capacidades que permitam a implementação de comunicações sem fios;
- Deve possuir entradas e saídas, analógicas e digitais;
- Em caso de falha de energia elétrica o equipamento teria de ser capaz de retomar as operações que estavam a ser realizadas anteriormente;

- Ser compatível com a adição de novos periféricos externos (memórias, relógios, etc.) que sejam de baixo custo;
- O equipamento teria de corresponder às exigências anteriores e ser de baixo custo, de forma a contribuir para a redução do custo total do sistema.

De seguida serão abordados alguns dos equipamentos que podem ser implementados como *Master* e *Slaves*.

Raspberry Pi

O *Raspberry Pi* é um computador em miniatura, as suas características e flexibilidade de aplicação são bastante promissoras. Este equipamento poderá ser utilizado como placa de desenvolvimento devido aos seus periféricos (*UART*, *SPI*, *I²C*, etc.). [35] Atualmente já existem alguns modelos do *Raspberry Pi* sendo o modelo “A” e “B” os mais conhecidos. O modelo “B” face ao “A” possui duas portas *USB* e uma *Ethernet*, no preço também existe diferença sendo que o custo do modelo “A” ronda os 24€ e o modelo “B” os 32€. [36] Na Figura 4.3 é apresentado o *Raspberry Pi* modelo “A”.



Figura 4.3: Raspberry Pi modelo A [37]

Ambos os modelos permitem a conexão de teclado (*USB*), rato (*USB*), televisão ou monitor (*HDMI*) e cartão de memória (*SD*).

O consumo energético ronda os 2,5W para o modelo A e os 3,5W para o modelo B. [37]

Autómato

O autómato (*PLC*¹) é um equipamento que é muito utilizado na indústria, devido à sua robustez (vibrações, humidade, ruído eletromagnético) permite que sejam aplicados em meios

¹ *Programmable Logic Controller*

industriais. Os autómatos já estão de tal forma integrados na indústria, que é relativamente fácil adicionar protocolos de comunicação (por exemplo *Modbus RTU* ou *ASCII*) para haver uma comunicação com outros autómatos. Na Figura 4.4 é apresentado um exemplo do autómato industrial do fabricante *Siemens*.

Figura 4.4: Autómatos industriais da Siemens [38]

Após uma pesquisa no *site* do vendedor *Farnell* constatou-se que o preço base de um autômato industrial ronda as centenas de euros. [38]

Microcontrolador (μC)

¹ As memórias não voláteis guardam a informação armazenada, mesmo quando não estão a ser alimentadas eletricamente.

Os microcontroladores possuem consumos energéticos mais reduzidos (cerca de $1,375W^1$), dimensões menores e ainda beneficiam do seu baixo preço (ronda os $5€^2$) relativamente aos mecanismos apresentados acima, salvo raras exceções.

Os microcontroladores podem ser implementados em diversas áreas e desempenhar várias funções.

Os microcontroladores apresentam vantagens significativas, porém a sua implementação por vezes torna-se bem mais complexa, o que exige um maior tempo na sua elaboração e obriga a possuir mais conhecimentos relativos à sua programação. O bom funcionamento do sistema irá depender da robustez do algoritmo implementado.

Triagem

Após uma análise dos prós e contras de cada mecanismo apresentado anteriormente, optou-se por desenvolver uma solução baseada em microcontroladores, não só pelas funcionalidades que apresentam, mas também pelo seu baixo custo de implementação e dimensões reduzidas, o que contribui para uma redução no custo total do sistema, visto que as outras alternativas aumentariam significativamente o preço final.

Certamente que irão surgir diversas dificuldades no desenvolvimento da solução através de microcontroladores, mais concretamente na implementação do protocolo *Modbus*, sendo este um grande desafio. O facto de se prever um desafio com os microcontroladores faz com que haja uma motivação extra, e que será uma ótima etapa para adquirir e consolidar conhecimentos no que diz respeito aos microcontroladores e à sua programação em linguagem C.

O microcontrolador escolhido foi o PIC18LF2520, a escolha deve-se ao facto deste possuir entradas e saídas, quer analógicas quer digitais, que serão necessárias para controlar e atuar no sistema de Irrigação. Este microcontrolador permite estabelecer comunicações *USART (RS-232)*, *SPI* e *I²C*, possui três relógios internos, entre outras funcionalidades que podem ser encontradas no manual do fabricante. O baixo consumo energético é outra das características deste microcontrolador, este apresenta um consumo elétrico máximo de $1,375W$ (considerando que o microcontrolador está na seu limite de funcionamento: tensão máxima $5,5V$ e corrente máxima $250mA$). [39]

¹ Considerando que o microcontrolador PIC18LF2520 está no seu limite de funcionamento: tensão máxima $5,5V$ e corrente máxima $250mA$ [39]

² Preço do microcontrolador PIC18LF2520 [40]

O PIC18LF2520 possui ainda incorporado uma *EEPROM*, o que permite que alguns valores fiquem guardados mesmo que o microcontrolador permaneça desligado.

Na Figura 4.5 é o apresentado o PIC18LF2520 utilizado para desenvolver a aplicação.

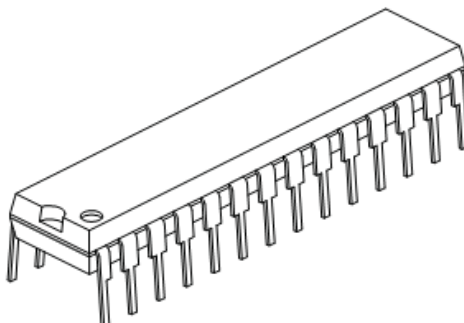


Figura 4.5: Microcontrolador PIC18LF2520 da *Microchip* [39]

O custo deste microcontrolador é muito baixo quando comparado por exemplo com o autômato que foi apresentado anteriormente, sendo que o preço de cada microcontrolador PIC18LF2520 ronda os 5€. [40] Contudo é ainda necessário incluir o *hardware* que é fundamental para o funcionamento correto do microcontrolador, mas mesmo assim o seu custo global ainda se encontra bastante abaixo dos preços atuais dos autômatos, salvo raras exceções.

4.3 Comunicação sem fios

Num sistema de Irrigação para um campo de Golfe é necessário controlar e recolher informação de diversos equipamentos ao longo de uma vasta área. Esta necessidade implica a utilização de vias de comunicação, que podem ser cabladas ou não. A utilização de vias de comunicação cabladas implica um maior custo na implementação do sistema, devido ao preço da cablagem e da mão-de-obra, e pode ser danificada facilmente (operações no terreno por exemplo na abertura de valas). Enquanto a comunicação por vias não cabladas reduzem significativamente o custo de global da instalação do sistema de controlo de rega.

Com o objetivo de optar por vias não cabladas, comunicação sem fios, foi selecionado o módulo de rádio frequência de baixo custo (por volta de 1€ [41]), o nRF24L01+.

O nRF24L01+, módulo RF, é um transmissor/recetor de 2,4GHz, adequado para aplicações sem fios de baixo consumo de energia. Para comunicar e controlar este módulo é apenas necessário um microcontrolador que contenha alguns das características básicas dos microcontroladores (portas de entrada e saída digitais, e uma comunicação por *SPI*).

O módulo RF possui alguns parâmetros de comunicação que podem ser configurados, como por exemplo o canal da frequência de comunicação, a potência do sinal e a velocidade da

transmissão de dados. A velocidade da transmissão de dados pode ser 250 Kbps, 1 Mbps ou 2 Mbps.

Na Figura 4.6 é apresentado o módulo nRF24L01+, bem como os respectivos pinos de conexão.

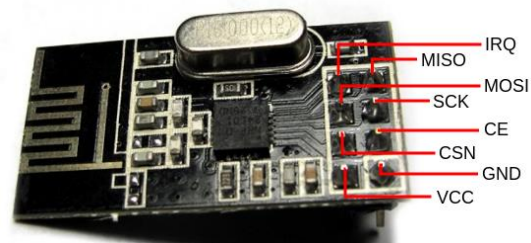


Figura 4.6: Pinos de conexão do módulo nRF24L01+ [42]

O módulo RF possui oito pinos, sendo que dois são destinados à alimentação do mesmo (V_{CC} e GND), quatro para a comunicação *SPI* (*SCK*, *MOSI*, *MISO* e *CSN*), um para ativar o modo de recepção (CE) e outro que está associado internamente às *flag's*¹ (IRQ) do nRF24L01+. O IRQ é um pino de saída, que está por defeito no nível alto (IRQ=1), e quando uma *flag* é ativa este passa para nível baixo (IRQ=0). As *flag's* associados ao pino IRQ são: transmissão bem-sucedida, mensagem recebida, e atingiu o número máximo de retransmissões previamente definido.

O nRF24L01+ possui dois modos de funcionamento, transmissor e recetor. Este pode ainda ser configurado para que o recetor gere automaticamente um *Acknowledgement* quando recebe uma mensagem. Para que fosse mais fácil de entender o processo de transmissão e recepção de mensagens, bem como as *flag's* que ficam ativas em cada situação foi elaborado um diagrama que representa este processo de transmissão e recepção, Figura 4.7. No diagrama ilustrado cada equipamento, *Master* e *Slave*, está equipado com um módulo RF.

¹ *Flag's* – são utilizadas na programação para assinalar mudanças de estado que são importantes.

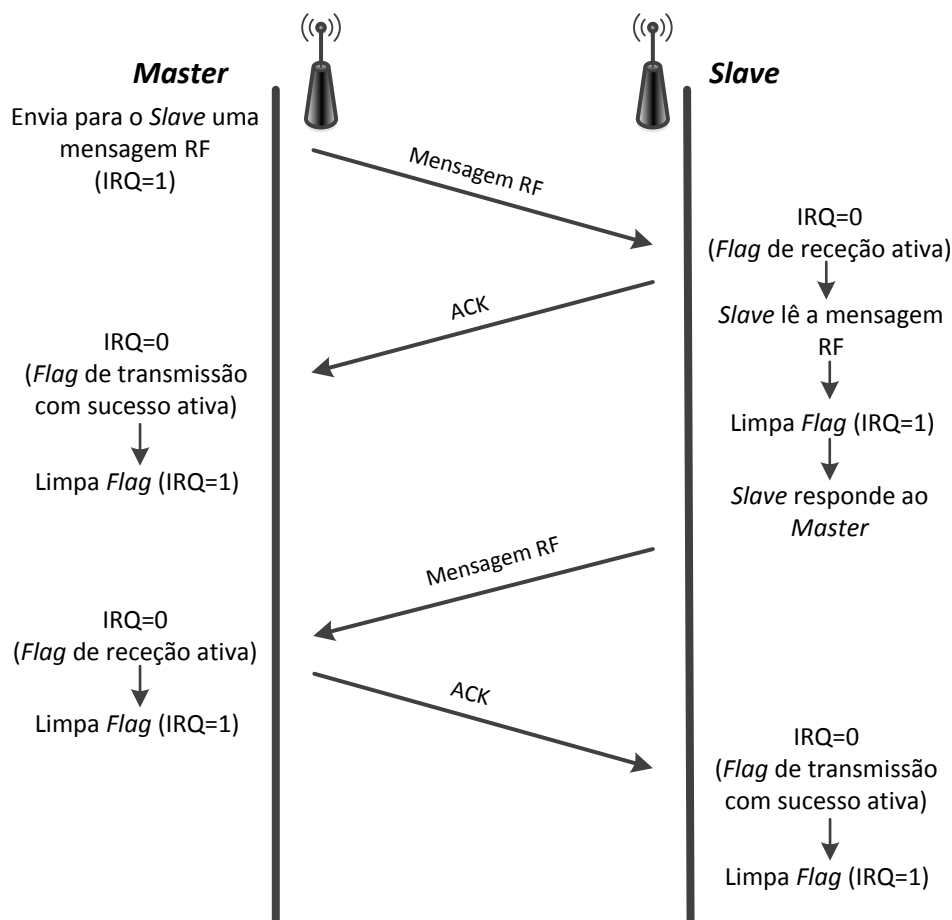


Figura 4.7: Envio e recepção de uma mensagem RF bem-sucedido

O módulo pode ser programado para que o transmissor retransmita automaticamente uma mensagem quando este não recebe *Acknowledgement* por parte do recetor. O processo de retransmissão é previamente configurado, é essencial definir o número máximo de retransmissões, bem como o tempo entre cada retransmissão. Na Figura 4.8 é representada uma transmissão de uma mensagem sem sucesso, onde foi previamente configurado que o processo de retransmissão está ativo e o número máximo de retransmissões é 15 tentativas, com um intervalo de 1 milissegundo.

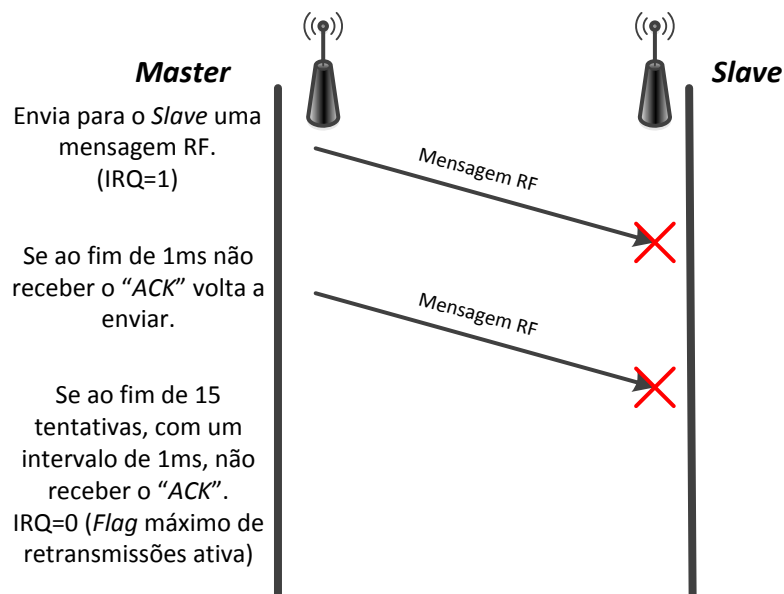


Figura 4.8: Envio de uma mensagem RF sem sucesso

O alcance da comunicação varia com a velocidade de comunicação, a velocidades mais baixas ao alcance máximo aumenta. Contudo o *hardware* acoplado ao chip nRF24L01+ é o que contribui mais para que o alcance máximo aumente significativamente. O alcance máximo pode atingir as dezenas de metros (caso da Figura 4.9.a) ou até mesmo as centenas de metros (caso da Figura 4.9.b), sendo que o preço de cada módulo RF aumenta conforme o alcance máximo vai aumentando. O preço do módulo RF com maior alcance ronda os 5€. [43]



a) Com menor alcance [44]



b) Com maior alcance [45]

Figura 4.9: Módulo nRF24L01+

O módulo nRF24L01+ possui um encapsulamento automático das mensagens que são trocadas entre os módulos nRF24L01+. O encapsulamento da mensagem é composto pelo *Preamble*, *Address*, *Packet Control Field*, *Payload* e *CRC*. Os campos que constituem o encapsulamento são apresentados na Figura 4.10, bem com o respetivo tamanho de cada campo.

Preamble 1byte	Address 3-5byte	Packet Control Field 9bit	Payload 0-32byte	CRC 1-2byte
----------------	-----------------	---------------------------	------------------	-------------

Figura 4.10: Formato da mensagem de rádio frequência, nRF24L01+

De seguida será apresentado um resumo com uma breve descrição de cada campo.

Preamble

O *Preamble* é uma sequência de 8 *bits* que permitem sincronizar o decodificador do recetor. Neste campo só existem duas combinações possíveis, ou 01010101 ou 10101010, caso o primeiro *bit* do campo seja igual a “1” o *preamble* é automaticamente ajustado para a sequência 10101010.

Address

O *Address* ou o endereço, em português, permite identificar cada módulo RF evitando assim conversas cruzadas, que poderiam causar erros de comunicação. O endereço pode ser configurado através de 3, 4 ou 5 *bytes* (exemplo de um endereço 0xFF00FF00FF para a configuração de 5 *bytes*).

Packet Control Field

O *Packet Control Field* é composto por 9 *bits*, sendo que este campo depois é dividido em 3 subcampos conforme se pode ver pela Figura 4.11, onde é apresentado o tamanho de cada um dos novos subcampos.

Payload length 6bit	PID 2bit	NO_ACK 1bit
---------------------	----------	-------------

Figura 4.11: Packet Control Field

O subcampo *Payload length* é composto por 6 *bits* que permitem identificar o tamanho (número de *bytes*) da mensagem de dados a enviar, sendo que esta pode variar entre 0 e 32 *bytes*. Quando o recetor envia um *Acknowledgement* o tamanho do campo de dados é igual a 0 *bytes*.

O *PID* ou *Packet Identification* é formado por 2 *bits* que definem se o pacote de dados a enviar é um novo ou retransmitido. O subcampo *PID* é incrementado por parte do transmissor. Quando o recetor recebe um pacote de dados que tem o mesmo *PID* que o pacote anterior, o recetor verifica o *CRC* de ambos os pacotes (o pacote anterior e o agora recebido). Se ambos tiverem o mesmo *CRC*, o último pacote recebido será considerado uma cópia do pacote anterior, e assim será descartado.

O *No Acknowledgement* é apenas constituído por 1 *bit* e permite informar o recetor se este deve gerar automaticamente o *Acknowledgement* ou não, para o ser enviado ao transmissor.

Payload

O *Payload* é a mensagem de dados a ser enviada para o recetor, esta mensagem pode ter um tamanho que varia de 0 a 32 *bytes*.

CRC

O *CRC* é um mecanismo de deteção de erros no pacote transmitido, este campo pode ser composto por 1 ou 2 *bytes*. O *CRC* é calculado em função do *Address*, *Packet Control Field* e *Payload*. [46]

4.4 Relógio de rega

Na Revisão do estado de arte foram apresentadas boas práticas de irrigação, sendo que uma delas é realizar a rega nas horas em que exista menor radiação solar (antes do início da manhã e depois do pôr-do-sol), assim é necessário que haja um relógio que permita ligar a rega de forma automática apenas nas horas que sejam mais convenientes.

O equipamento *Real-Time Clock/Calendar* ou *RTCC* é um dispositivo que funciona como um relógio e um calendário, tudo num só, sendo apenas necessário uma prévia sincronização da data e hora no momento em que se coloca o dispositivo em funcionamento. Este equipamento irá permitir que a irrigação só ocorra nas horas mais oportunas, previamente definidas.

A escolha deste equipamento em relação a outros incidiu sobretudo nas características físicas e técnicas (tipo de comunicação) do equipamento, que teriam de permitir a sua aplicação no protótipo em desenvolvimento. Desta forma optou-se pelo *RTC MCP7940M*, este permite sincronizar a data completa (segundos, minutos, horas, dia da semana, dia do mês, mês, ano) e possui ainda dois alarmes que podem ser programados de diversas maneiras. O *RTC* comunica por I^2C e detém um pino externo que permite identificar quando é que um dos alarmes ficou ativo. Sendo este um equipamento de baixo custo, cerca de 1€ [47] e de baixo consumo energético, por volta dos 4μW [48].

Na Figura 4.12 é apresentado um Diagrama de Blocos que ilustra a estrutura interna dos *RTC's* que comunicam via I^2C , disponibilizado pelo fabricante *Microchip*. [49] O *RTC MCP7940M* tem a particularidade de não prever ligação a uma bateria, de resto tudo é igual ao Diagrama apresentado na Figura 4.12.

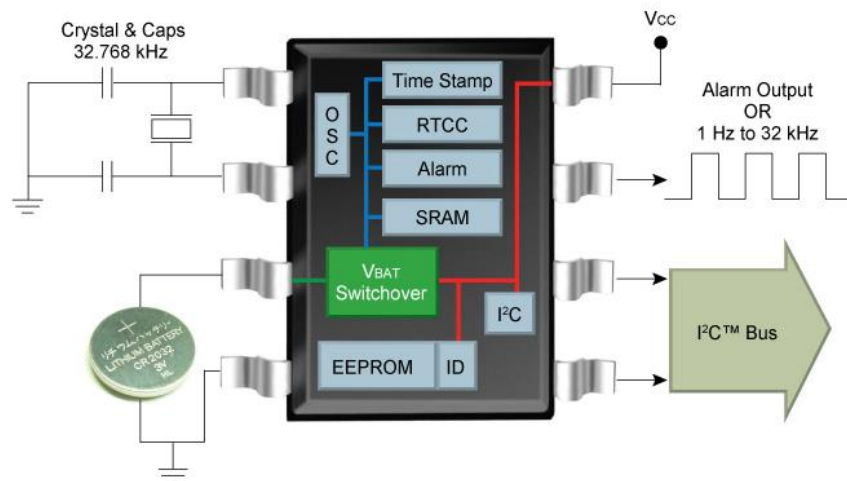


Figura 4.12: Estrutura do RTC que comunica por I²C [49]

5 Implementação da solução proposta

No capítulo anterior foi explicada a topologia em estrela e a seleção do equipamento que coordenará todo o sistema. No presente capítulo irá ser descrita a estrutura da solução proposta, os vários elementos que constituem esta solução e de que forma foi organizada a comunicação que permitiu interligar todos os elementos, para que o sistema correspondesse as funcionalidades projetadas.

O capítulo está estruturado da seguinte forma: inicialmente será exposta a topologia do sistema implementado e apresentadas as funcionalidades gerais da solução desenvolvida.

De seguida será descrito de que forma foi estruturada a comunicação e como foi elaborado o algoritmo de reencaminhamento de mensagens. Posteriormente é apresentado de que modo foi projetado o *Master* e os *Slaves*.

Por último será descrita a funcionalidade da interface desenvolvida para a solução proposta.

O sistema de Irrigação implementado é constituído por uma unidade de controlo (*Master*), com um relógio de rega (*Real-Time Clock*), diversos *Slaves* com várias funcionalidades, um computador que irá permitir ao utilizador controlar e monitorizar todo o sistema, e ainda pelos respetivos módulos RF. Na Figura 5.1 é apresentado um Diagrama de Blocos da solução implementada.

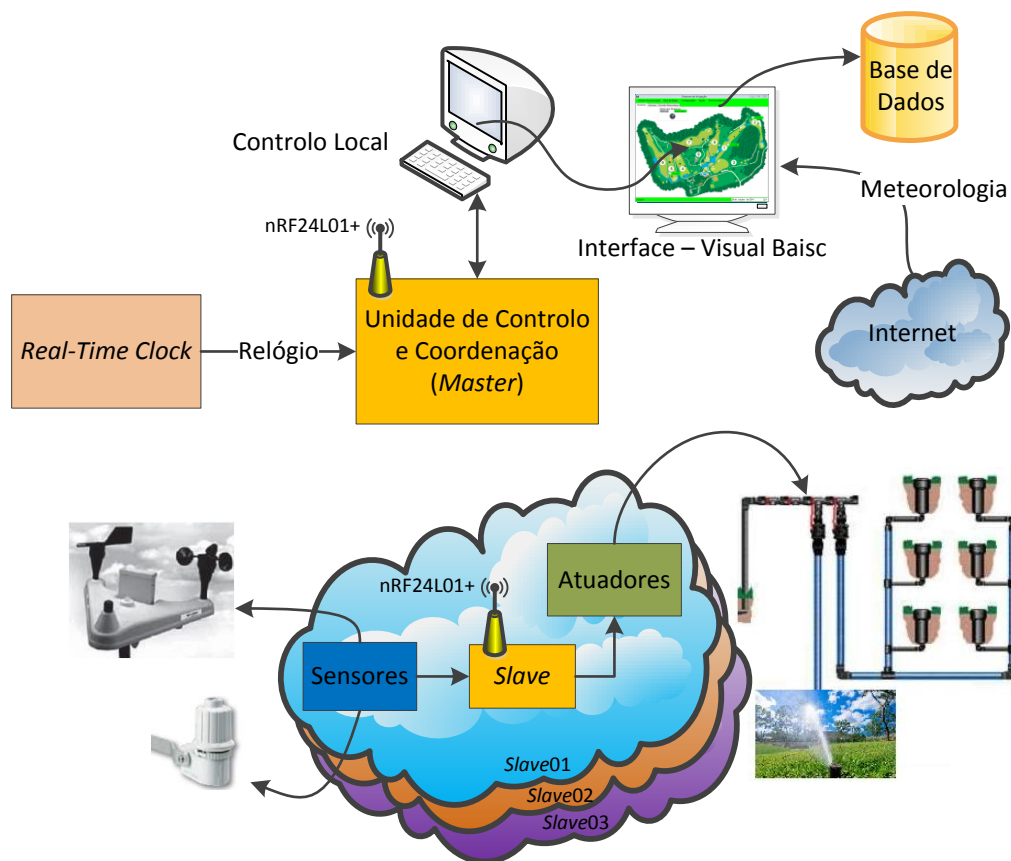


Figura 5.1: Estrutura da solução implementada

Antes de proceder ao esclarecimento de cada um dos subcapítulos, começar-se-á por apresentar uma lista das funcionalidades do sistema implementado (sem entrar em pormenores, uma vez que esses serão realizados ao longo do capítulo):

- Adicionar/Remover *Slaves*;
- Comunicação sem fios entre *Master* – *Slaves*;
- Interface desenvolvida para plataformas *Microsoft Windows*;
- Acesso condicionado à interface desenvolvida;
- Recolha de informação Manual ou Automática dos Sensores;
- Rega Manual ou Automática;
- Agendamento predefinido da hora de Rega Automática;
- Sincronização automática do relógio de rega;
- Adicionar/Remover eletroválvulas ao sistema de rega;
- Alterar localização de cada eletroválvula (endereço do *Slave* e pino);
- Alterar o programa de rega de cada eletroválvula;

- Adicionar/Remover sensores ao sistema de rega;
- Alterar localização de cada sensor (endereço do *Slave* e pino);
- Definir o tipo de sensor;
- Recolha de informação meteorológica por localidade;
- Armazenamento de diversos tipos de registo em base de dados.

5.1 Comunicação proposta

O sistema implementado é composto por vários elementos que comunicam entre si (*Master*, *Slaves* e Computador), para que o sistema desempenhe as funções para o qual este foi projetado é necessário que haja um protocolo de comunicação que seja entendido por todos os equipamentos instalados ou ainda pelos que possam vir a ser instalados.

Para que fosse possível comunicar de forma eficiente e segura, com os diversos equipamentos foi definida uma estrutura de mensagem que iria circular em todos os equipamentos, e que estes fossem capazes de interpretar e responder às mensagens.

Por norma os campos de Golfe têm grandes dimensões, para realizar uma irrigação eficiente é essencial controlar e recolher informação de diversos equipamentos que estão distribuídos ao longo de uma extensa área. Para que fosse possível monitorizar toda essa área foi elaborado um algoritmo de reencaminhamento de mensagens, que será explicado posteriormente na presente dissertação.

Os dados transmitidos entre equipamentos possuem uma determinada estrutura, que será agora apresentada.

5.1.1 Estrutura da Mensagem proposta

Neste subcapítulo irá ser abordado de forma mais pormenorizada a estrutura da mensagem que é transmitida entre os equipamentos, esta estrutura permitirá obter uma comunicação eficaz, segura e que ao mesmo tempo não torna-se o código demasiado extenso.

A estrutura da mensagem implementada tem como base o protocolo *Modbus*, devido à sua simplicidade e à enorme quantidade de fabricantes que o implementam nos seus equipamentos. [50] O facto de o *Modbus* ser muito utilizado pelos fabricantes irá permitir que em aplicações futuras seja possível interligar o sistema de Irrigação, com mais equipamentos que comuniquem por *Modbus*, uma vez que no sistema de Irrigação já possui implementado a estrutura das mensagens *Modbus*.

Com o evoluir do sistema de Irrigação, houve a necessidade de reencaminhar as mensagens entre os equipamentos, para que fosse possível alcançar uma distância maior entre os dispositivos designados por “Master” e os “Slaves”. Face a esta necessidade foi adaptada a estrutura de mensagem *Modbus RTU*, esta adaptação é designada por *Modbus Beta*. O *Modbus Beta* é composto por mais dois campos, um que define a origem onde a mensagem é criada e o outro que contem o número de *TTL*. O *TTL (Time To Live)* é um conceito utilizado nas redes de computadores, que define o número de saltos entre equipamentos que a mensagem pode dar, até que esta seja descartada. O *TTL* evita que as mensagens circulem infinitamente entre os equipamentos, o que podia provocar um colapso da rede implementada.

Assim a estrutura da mensagem *Modbus Beta* é composta pelos seguintes campos:

- Origem – Endereço onde é criada a mensagem;
- Destino – Endereço de destino da mensagem;
- Função – Define o objetivo do envio da mensagem;
- Registo – Posição que se pretende Ler/Escriver;
- Valor – Valor a escrever ou lido;
- *TTL* – Número de saltos entre a Origem e o Destino;
- *CRC* – Detecção de erros de transmissão.

Na Figura 5.2 é apresentada a organização da mensagem implementada.

Origem	Destino	Função	Registo	Valor	<i>TTL</i>	<i>CRC</i>
--------	---------	--------	---------	-------	------------	------------

Figura 5.2: Estrutura da mensagem *Modbus Beta*

A mensagem é composta por dez *bytes*, onde o “Registo”, o “Valor” e o “*CRC*” são constituídos por dois *bytes* cada, enquanto cada um dos restantes campos contém apenas um *byte*. Os campos que possuem dois *bytes* devem-se ao protocolo *Modbus*, uma vez que se pretende manter a estrutura do protocolo, pois poderá ser útil para utilizações futuras. Na Figura 5.3 é apresentada a disposição da mensagem *Modbus Beta* com o número de *bytes* correspondente a cada campo.

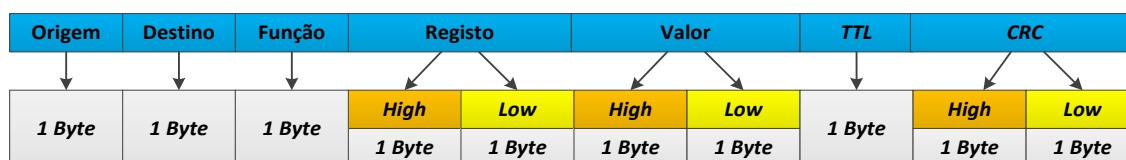


Figura 5.3: Número de *bytes* de cada campo da mensagem

Origem

A “Origem” é primeiro campo da mensagem que possui o endereço do equipamento onde foi criada a mensagem. O endereço é composto por oito *bits*, o que permite obter 255 endereços diferentes. A utilização deste campo permite que o equipamento consiga responder a uma determinada pergunta, realizada por outro equipamento, direcionando a mensagem para um único destino, pois sabe a sua origem, evitando assim um erro na comunicação.

Na Tabela 5.1 é apresentada uma lista de alguns dos endereços dos equipamentos utilizados, bem como o respetivo código de identificação, em hexadecimal e em binário.

Tabela 5.1: Endereço dos dispositivos de rádio frequência implementados

Código do Endereço		Designação
Hexadecimal	Binário	
01	00000001	Computador
00	00000000	Master
40	01000000	Slave01
50	01010000	Slave02
54	01010100	Slave03
55	01010101	Slave04

Destino

O “Destino” é o segundo campo da mensagem e contém o endereço do equipamento a quem se destina a mensagem, tal como no protocolo *Modbus*.

Função

Cada mensagem tem uma função específica, não pode haver duas ou mais funções na mesma mensagem. A função é codificada em 8 *bits*, o que permite 255 funções distintas, sendo que algumas delas estão bem definidas no protocolo *Modbus*, como está referido no capítulo 3.2. A função pode ser de leitura ou escrita de um determinado registo, pode ser uma função de configuração do equipamento *Master/Slave*, ou até mesma uma função que permite identificar um problema num determinado equipamento.

Na Tabela 5.2 é apresentada uma lista das funções utilizadas na comunicação *Modbus Beta*, bem como o respetivo código (número em decimal e binário) que a identifica, sendo uma parte da lista apresentada é baseada nas funções existentes no *Modbus* e as restantes desenvolvidas para um melhor desempenho do sistema de Irrigação. Os endereços das funções desenvolvidas para o sistema de Irrigação situam-se dentro da gama de endereços livres prevista no protocolo *Modbus*.

Tabela 5.2: Descrição do código de cada função do *Modbus Beta*

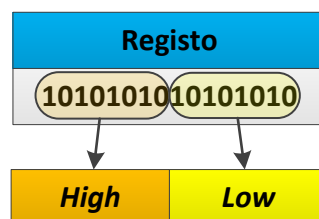
Código da Função		Descrição
Decimal	Binário	
01	00000001	Ler saída digital (<i>Modbus</i>)
02	00000010	Ler entrada digital (<i>Modbus</i>)
03	00000011	Ler registo de memória (<i>Modbus</i>)
05	00000101	Escrever numa saída digital (<i>Modbus</i>)
06	00000110	Escrever numa memória (<i>Modbus</i>)
65	01000001	Mensagem destinada ao <i>Master</i> (<i>Modbus Beta</i>)
66	01000010	Mensagem destinada ao <i>Slave</i> (<i>Modbus Beta</i>)
71	01000111	Mensagem de Erro (<i>Modbus Beta</i>)
72	01001000	Declarar as portas do <i>Slave</i> como Entradas/Saídas (<i>Modbus Beta</i>)

As mensagens enviadas pelo Computador, que são apenas destinadas ao *Master* permitem alterar e determinar o modo de funcionamento (Manual/Automático), sincronizar o *RTC*, entre outras funcionalidades.

Quando é enviada uma ordem de mudança de estado de um determinado registo, a resposta só é dada depois de realizar a devida alteração.

Registo

O campo do “Registo” é composto por dois *bytes*, ou seja, 16 *bits* que permitem obter 65535 combinações diferentes. Contudo os equipamentos (microcontrolador, Computador e dispositivo de rádio frequência via *SPI*) utilizados só permitem transmitir um *byte* de cada vez. De forma a transmitir o campo completo, o registo foi dividido em dois níveis como se pode ver pela Figura 5.4, o primeiro nível que contém os 8 *bits* mais significativos (*bits* à esquerda) designado por *High*, e o segundo que possui os 8 *bits* menos significativos (*bits* à direita) designado por *Low*. Na Figura 5.4 é possível ver esta mesma divisão.

Figura 5.4: Divisão dos 16 *bits* do campo

Na Tabela 8.2 do Anexo C são apresentados em hexadecimal todos os registos dos *Slaves*, bem como a respetiva descrição e ainda com a identificação realizada pelo fabricante do microcontrolador.

Após a divisão dos *bytes*, cada *byte* será enviado separadamente para o seu destino.

Valor

Neste campo é inserido o valor lido pelo *Slave*, no caso de ser uma leitura, ou o valor a escrever enviado pelo *Master*, no caso de ser uma função de escrita. Este também é constituído por dois *bytes*, desta forma o método de envio dos *bytes* é igual ao referido no tópico anterior.

Quando o *Master* pretende fazer uma leitura, o número inserido no campo “Valor” podia ser qualquer um (no intervalo compreendido entre 0 e 65535, por serem dois *bytes*), uma vez que o equipamento que irá ler a ordem, não dará importância ao número que está no campo do “Valor”. Contudo cada vez que o *Master* enviar uma mensagem com o objetivo de realizar uma leitura, o número inserido neste campo será por defeito “00FF” em hexadecimal, que corresponde ao número 255 em decimal. Na resposta a uma leitura o número inserido no campo do “Valor” é o número lido de um determinado registo.

Quando se pretende escrever um determinado número num registo, o número a colocar no campo do “Valor” é aquele que realmente se quer escrever. Após a escrita o equipamento espera 10 microssegundos¹ para que o microcontrolador possa atualizar o seu registo, só depois responde com o número que realmente está naquele registo, assim é possível verificar se a escrita foi efetuada com sucesso ou não.

TTL – Time To Live

O *TTL* é o número de equipamentos pelos quais a mensagem poderá ser reencaminhada, desde a origem até ao equipamento de destino. Quando um equipamento recebe uma mensagem que não é destinada a si, este decrementa uma unidade no número de *TTL*. Quando o número de *TTL* for igual a zero a mensagem é automaticamente descartada. O campo em causa é composto por um *byte*.

CRC – Cyclic Redundancy Check

No envio de mensagens, o recetor pode não receber a mensagem tal e qual como esta foi enviada, ou seja, podem existir erros nos dados, devido a interferências eletromagnéticas ou até mesmo uma anomalia no sistema de transmissão, por este motivo, e tendo como base o protocolo *Modbus*, foi utilizado um mecanismo que permite detetar se a mensagem recebida é exatamente igual à mensagem transmitida.

O mecanismo de deteção utiliza um algoritmo designado por *CRC16*, este gera dois *bytes* para cada mensagem a transmitir. O recetor utiliza o mesmo algoritmo para calcular o *CRC* da

¹ Segundo o manual do fabricante do microcontrolador PIC18LF2520, o tempo máximo que demora a ativar/desativar uma saída é 60 nanossegundos, por isso o tempo de espera é o suficiente.

mensagem recebida, e compara o *CRC* agora calculado com o *CRC* enviado pelo transmissor. A transmissão só é realizada com sucesso se o *CRC* enviado for igual ao *CRC* calculado pelo recetor. Sempre que o *CRC* calculado for diferente do *CRC* enviado, a mensagem será imediatamente descartada, evitando assim desperdício de recursos, nomeadamente tempo de processamento.

O *CRC* é calculado em função de todos os campos da mensagem, exceto do próprio *CRC*, ou seja, desde a “Origem” até ao “TTL”.

Os dois *bytes* gerados são enviados no final da mensagem, logo a seguir ao “TTL”. Tal como acontece no campo do “Registo” e do “Valor”, aqui também é necessário separar os 8 *bits* mais significativos dos menos significativos, para que sejam enviados separadamente.

5.1.2 Reencaminhamento de Mensagem proposto

Os campos de Golfe são terrenos que possuem uma área verde muito grande, o que obriga utilizar equipamentos de comunicação sem fios com maior alcance de transmissão, para que seja possível monitorizar toda a área. Aplicar equipamentos com maior alcance de transmissão acrescentaria uma maior custo na implementação do sistema de Irrigação.

Com o objetivo de continuar no desenvolvimento de um sistema de Irrigação de baixo custo, seria mais vantajoso aplicar um algoritmo que permitisse que as mensagens fossem reencaminhadas pelos equipamentos, desde o local onde a mensagem é criada até ao equipamento de destino. Desta forma, seria possível aplicar equipamentos de rádio frequência com um menor alcance, mas que também seriam mais baratos.

Assim será elaborado e implementado um complexo algoritmo de reencaminhamento, que não sobrecarregue a comunicação sem fios e que seja extramente funcional quando se adicione ou remove equipamentos na rede de comunicação.

No início do desenvolvimento do algoritmo de reencaminhamento surgiram duas possibilidades na forma como se iria transmitir a mensagem.

As possibilidades eram:

1. Identificar todos os módulos nRF24L01+ com o mesmo endereço de transmissão e receção;
2. Todos os módulos nRF24L01+ teriam um endereço, de transmissão e receção, distinto e único.

A primeira possibilidade tornaria o algoritmo mais simplificado, contudo surgiriam mais dificuldades na realização de uma comunicação rápida e com sucesso. Ora sem a transmissão do *ACK* por parte do recetor, não seria possível saber se este recebeu alguma mensagem. Caso a

transmissão do *ACK* esteja ativa, o transmissor não seria capaz de detectar se a mensagem estaria a ir no sentido mais correto, para atingir o destino final, o que origina um atraso na comunicação. Isto porque o *ACK* não permite identificar qual foi o recetor que recebeu a mensagem, visto que têm todos o mesmo endereço, desta forma a mensagem podia estar a ser reencaminhada para um sentido oposto ao seu destino final.

A segunda possibilidade obrigaria à implementação de um algoritmo mais complexo, não só na sua elaboração, mas também na sua articulação com o restante algoritmo global do sistema de Irrigação. Nesta possibilidade seria possível ativar a transmissão do *ACK* por parte do recetor, o que traria algumas vantagens. Das quais é possível saber se um recetor específico tinha recebido uma determinada mensagem, o que permite determinar se aquela rota de transmissão está disponível para se obter o destino final, e é ainda possível detectar anomalias na comunicação sem fios dos equipamentos, por onde circulam as mensagens. A deteção de anomalias torna-se muito importante quando é necessário proceder a uma reparação rápida e com sucesso.

Após uma análise de ambas as possibilidades, optou-se pela segunda solução uma vez é mais vantajosa. A deteção de anomalias pesou bastante na seleção das possibilidades, pois tanto na fase de testes, como na fase da implementação final, a deteção de anomalias é bastante útil.

Identificação dos Equipamentos

Como é necessário descobrir o melhor caminho para que a mensagem chegue ao destino rapidamente e com sucesso, criou-se uma estratégia para identificar o caminho correto. Esta estratégia consiste em criar vários grupos de *Slaves* encadeados, onde a mensagem só será reencaminhada para o *Slave* seguinte, se este estiver na mesma sequência de encadeamento dos grupos, ou seja, uma topologia em árvore tal como na Figura 4.2. Para criar os vários grupos dividiu-se o campo de “Destino” em quatro grupos, onde cada grupo é composto por dois *bits*. Na Figura 5.5 é demonstrada a divisão de um *byte* em vários grupos.

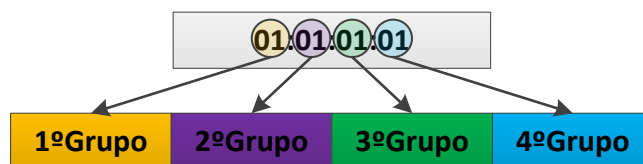


Figura 5.5: Divisão de um *byte* em grupos de *Slaves*

Na elaboração dos grupos, o *byte* foi dividido em quatro, porque assim cada grupo de dois *bits* permite obter quatro combinações distintas (código binário). Ou seja, dentro de cada grupo existem quatro endereços de *Slaves* distintos (“00”; “01”; “10”; “11”). A distância máxima da comunicação sem fios, entre *Master* e destino final, é multiplicada pelo número de grupos que se

obteve, neste caso uma distância máxima quatro vezes maior à inicial. Na Figura 5.6 é exibida apenas um terço da rede de *Slaves* implementada devido à limitação das dimensões da página de impressão. Na figura abaixo é possível visualizar o encadeamento entre grupos, bem como a identificação atribuída a cada *Slave* (devido à resolução da Figura 5.6 nem todos os *Slaves* foram identificados com o seu endereço físico).

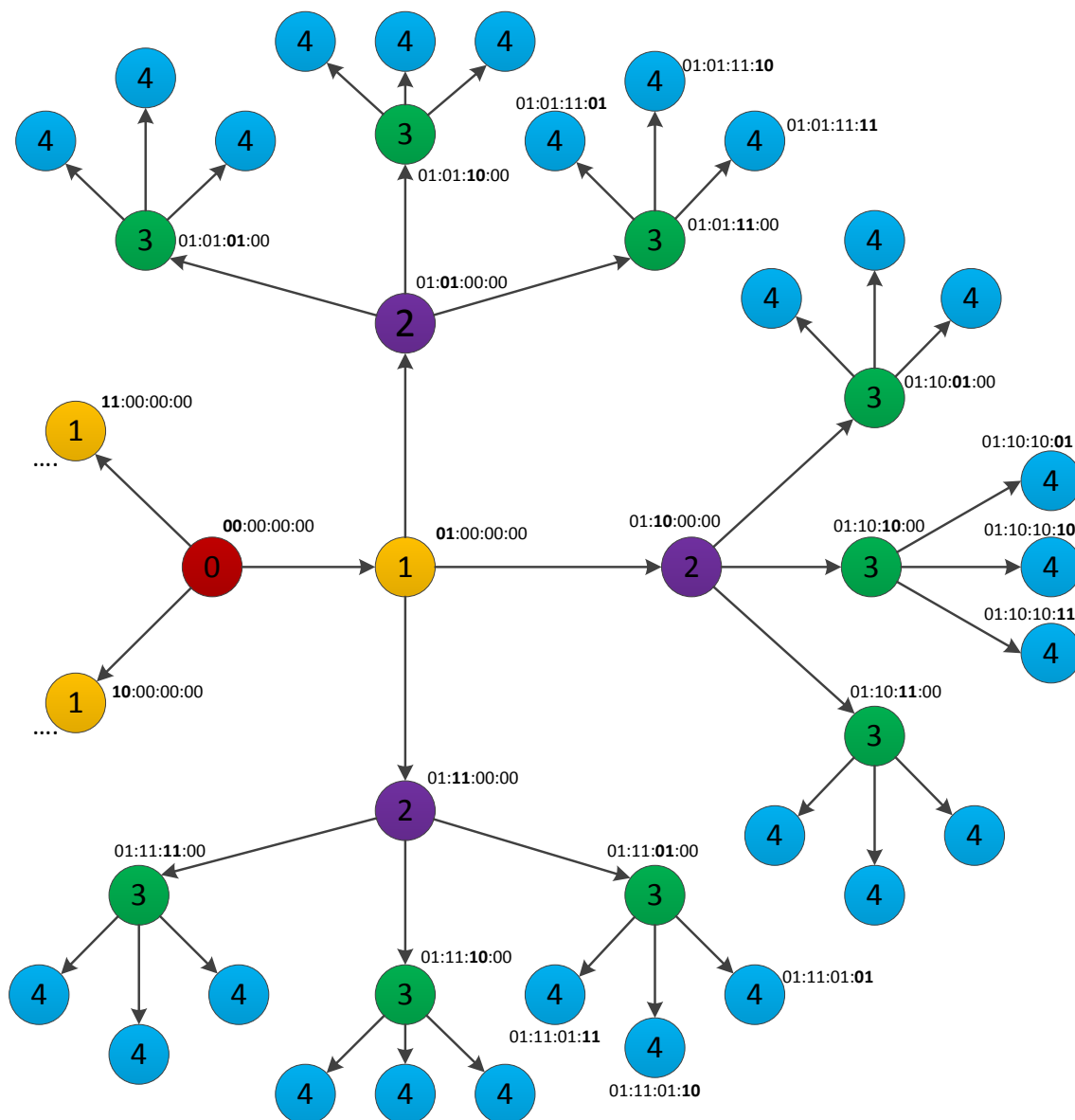


Figura 5.6: Rede de *Slaves* implementada

Na Tabela 8.1 do Anexo A é apresentada uma lista completa dos endereços físicos do Computador, *Master* e dos *Slaves*, através da tabela também é possível observar a topologia em árvore.

O *byte* podia ter sido dividido em mais grupos, por exemplo oito grupos, o que permitiria obter uma distância oito vezes superior à inicial. Contudo dentro de cada grupo só era possível

obter duas combinações binárias (“0” ou “1”), o que influencia na distribuição da rede, uma vez que o número de combinações dentro de cada grupo está diretamente relacionado, com o número de direções que se pode obter, como se pode ver pela Figura 5.7. Na Figura 5.7 é apresentada a distribuição da rede de *Slaves* para uma topologia com oito grupos, cada equipamento está identificado com o seu endereço físico (por exemplo: o *Slave* 4 possui o endereço “11110000”). Nesta distribuição o número máximo de *Slaves* está limitado a um número máximo de oito *Slaves*, devido aos algoritmos que serão apresentados a seguir.

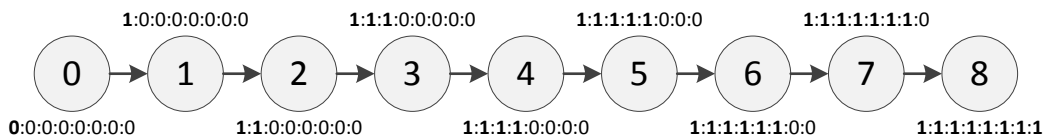


Figura 5.7: Rede de *Slaves* para uma topologia de oito grupos

Se um *byte* fosse dividido em menos grupos, era possível obter mais direções (combinações binárias), mas a distância máxima seria menor uma vez que o número de reencaminhamentos (grupos) também seria menor. Por exemplo dividindo um *byte* em dois grupos, seria possível obter 15 combinações binárias por cada grupo (4 *bits*), e a distância máxima seria o dobro da inicial. Na Figura 5.8 é apresentada a distribuição da rede de *Slaves* para a topologia de dois grupos, como é possível verificar para cada uma das combinações do grupo “1” obteve-se 15 novos *Slaves*, o que permite projetar uma rede com 225 *Slaves* no total.

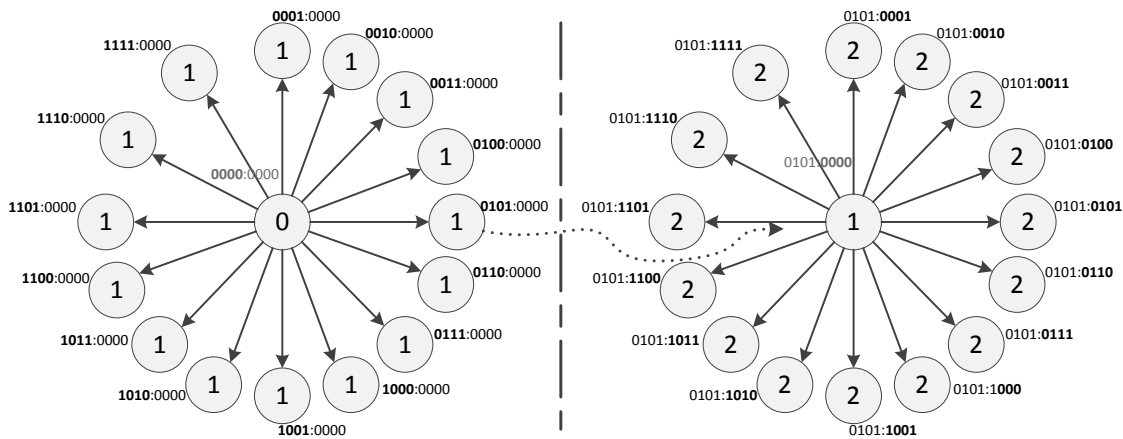


Figura 5.8: Rede de *Slaves* para uma topologia de dois grupos

Visto isto, dividir em quatro grupos, foi a melhor solução encontrada, pela relação distância máxima versos número de direções (combinações binárias).

A cada grupo está associado um número *TTL*, para que a mensagem chegue ao destino sempre pelo caminho mais curto e que não permaneça infinitamente na rede de comunicação. Na Tabela 5.3 é apresentado o número de *TTL* que corresponde a cada grupo.

Tabela 5.3: Número de *TTL* para cada grupo

Número do <i>TTL</i>	Destino
1	1º Grupo de <i>Slaves</i>
2	2º Grupo de <i>Slaves</i>
3	3º Grupo de <i>Slaves</i>
4	4º Grupo de <i>Slaves</i>

Na Tabela 8.1 do Anexo A é apresentada uma lista de todas as combinações possíveis dentro de cada grupo, o que no total permite obter 120 *Slaves*, cobrindo uma área quatro vezes maior que a inicial. As combinações binárias foram realizadas da direita para esquerda, ou seja, dos *bits* mais significativos para os menos significativos, devido aos algoritmos desenvolvidos.

Caso se opte pelo módulo de rádio frequência nRF24L01+ que possui o *hardware* que permite uma comunicação com um maior alcance (Figura 4.9.b), cerca de 700 metros, seria possível comunicar até uma distância máxima de 2800 metros (em linha reta) devido à implementação do algoritmo de reencaminhamento, como se pode verificar pela Figura 5.9. Se a Unidade de Controlo, o *Master*, estiver instalada no centro do campo de Golfe, os *Slaves* instalados nas extremidades do campo podem ficar a uma distância máxima de 5600 metros (em linha reta), permitindo cobrir uma área bastante considerável¹, cerca de 24,6Km².

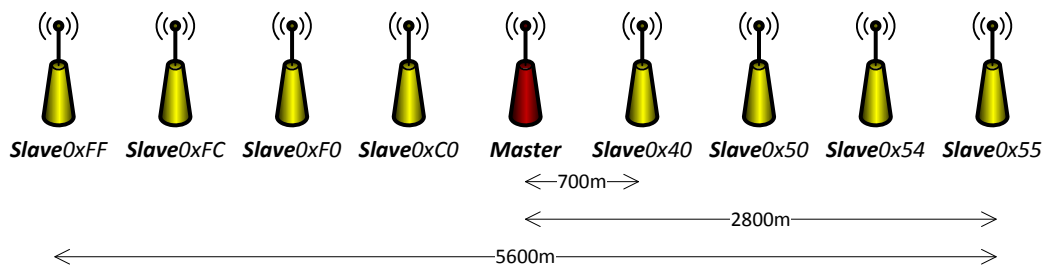


Figura 5.9: Distância máxima da comunicação sem fios

Para se obter uma área considerável é necessário que os *Slaves* sejam distribuídos pelo campo de Golfe segundo a topologia apresentada na Figura 5.6.

Algoritmo de reencaminhamento

Quando um recetor recebe uma mensagem, tal como já foi referido anteriormente, este irá calcular o *CRC* e verificar se a mensagem foi recebida com sucesso, se sim iniciar-se-á o processo de reencaminhamento, senão a mensagem será descartada imediatamente, poupando tempo de processamento.

¹ Assumindo que o raio da área de comunicação sem fios é 2800 metros e aplicando a fórmula da área do círculo ($A = \pi \times r^2$) obtém-se 24630086m².

Após a receção com sucesso é necessário descobrir se a mensagem é destinada ao próprio recetor, ou se deve reencaminhar a mensagem para outro equipamento que lhe esteja próximo. De modo a visualizar mais facilmente o processo que ocorre após uma receção com sucesso de uma mensagem, foi elaborado um fluxograma que é apresentado na Figura 5.10.

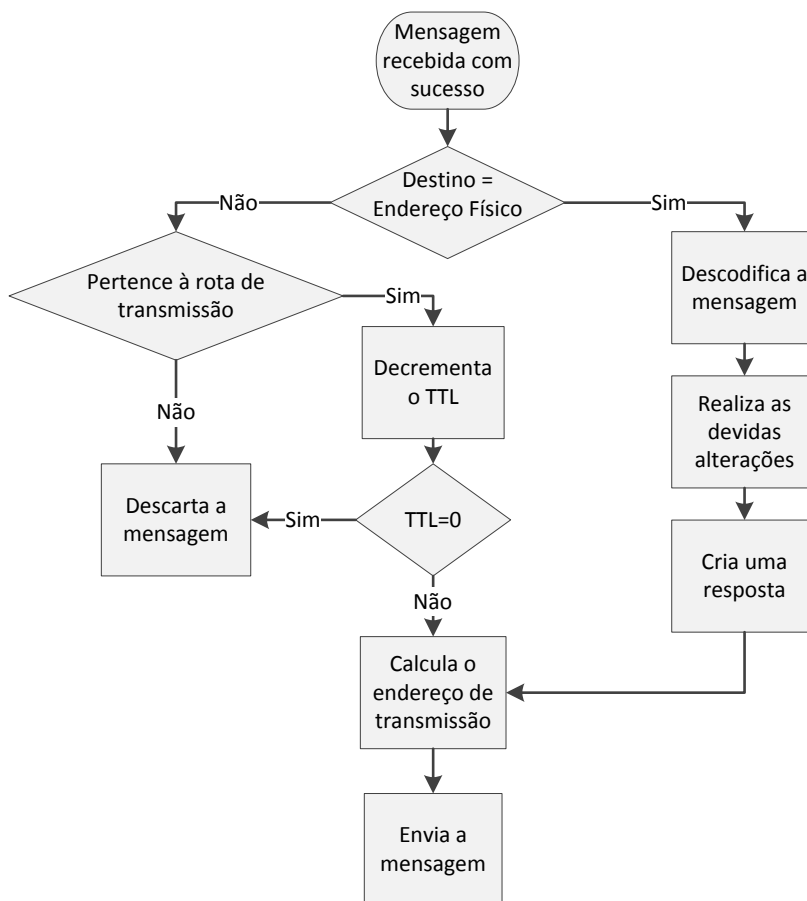


Figura 5.10: Fluxograma da receção da mensagem

Quando a mensagem é destinada ao próprio recetor, o endereço de destino é igual ao endereço físico do recetor. Após essa validação é necessário descodificar a mensagem, de acordo com as funções *Modbus Beta* anteriormente referidas, fazer as devidas alterações quer seja caso disso, e gerar uma mensagem de resposta. Na elaboração da mensagem de resposta além da devida alteração no campo do “Valor”, o endereço de destino passa a ser igual ao endereço de origem, e vice-versa, os restantes campos permanecem iguais, exceto o *TTL* e o *CRC* que são novamente calculados. Por último só resta calcular o endereço de transmissão do módulo de rádio frequência do próximo equipamento, que fará parte da rota de transmissão, esse processo será abordado mais à frente na presente dissertação.

Se a mensagem não for destinada ao equipamento, é então necessário descobrir se o recetor onde se encontra a mensagem faz parte da rota de transmissão, para que esta chegue ao

seu destino. Na Figura 5.11 é apresentado um fluxograma, lado esquerdo, que ilustra o algoritmo que valida se o recetor faz parte da rota de transmissão, no lado direito da mesma figura é representado um exemplo demonstrativo do algoritmo.

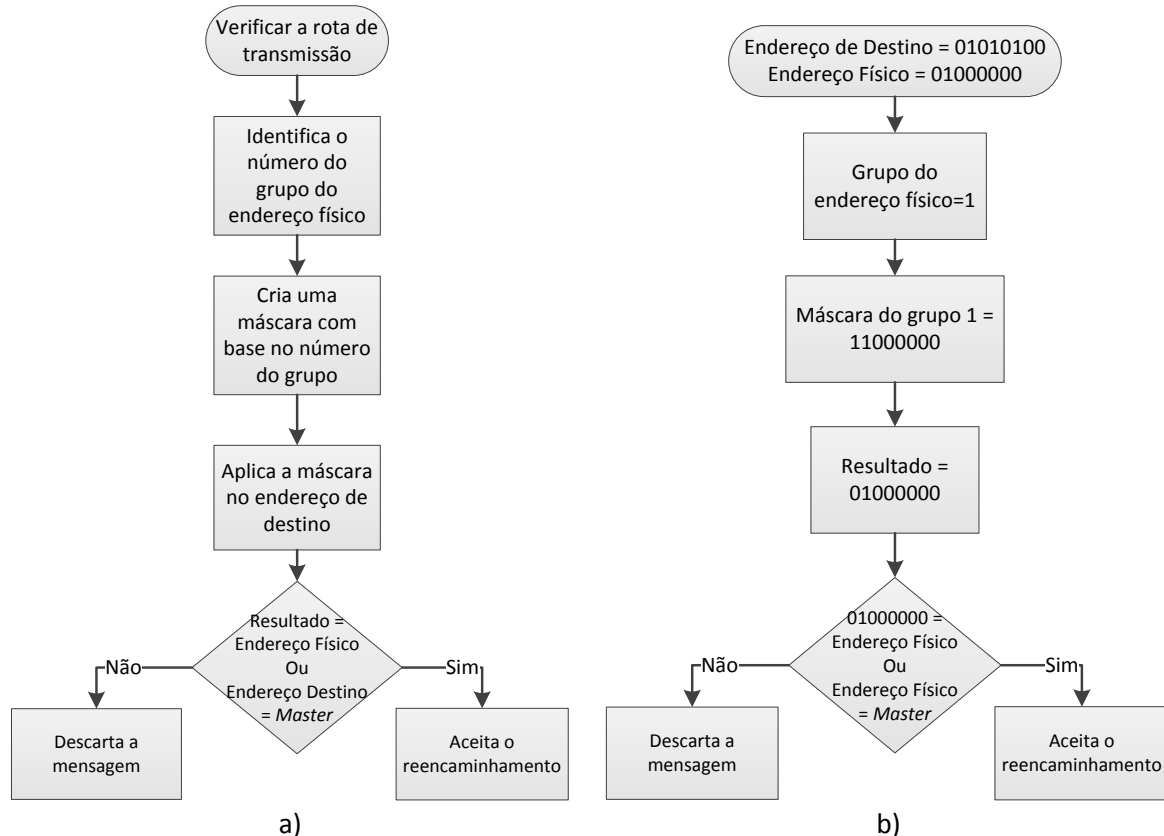


Figura 5.11: Fluxograma da verificação do reencaminhamento

Neste algoritmo é inicialmente analisado o endereço físico do recetor, depois de analisado sabe-se qual é o número do grupo de *Slaves* do equipamento em causa. Após descobrir o número do grupo de *Slaves*, cria-se uma máscara adequada àquele grupo em particular. Aplicando a máscara sobre o endereço de destino determina-se se o equipamento onde está a mensagem faz parte da rota de transmissão ou não. Ora se ao aplicar a máscara sobre o endereço de destino da mensagem, se obtiver o endereço físico do recetor é sinal que este recetor pertence à rota de transmissão. Caso o endereço de destino seja igual ao endereço do *Master*, será aceite o reencaminhamento da mensagem. Caso o recetor faça parte da rota de transmissão, é decrementado uma unidade do número do *TTL*, e se o *TTL* for superior a zero é iniciado o processo de transmissão. Caso o *TTL* seja igual a zero ou a o equipamento não faça parte da rota de transmissão, a mensagem será imediatamente descartada.

Quer seja uma resposta do *Slave* quer seja um reencaminhamento de mensagem, é sempre necessário em ambos os casos calcular o endereço de transmissão do próximo equipamento, para onde se irá transmitir a mensagem.

Para calcular o endereço de transmissão, desenvolveu-se o algoritmo que é ilustrado na Figura 5.12.

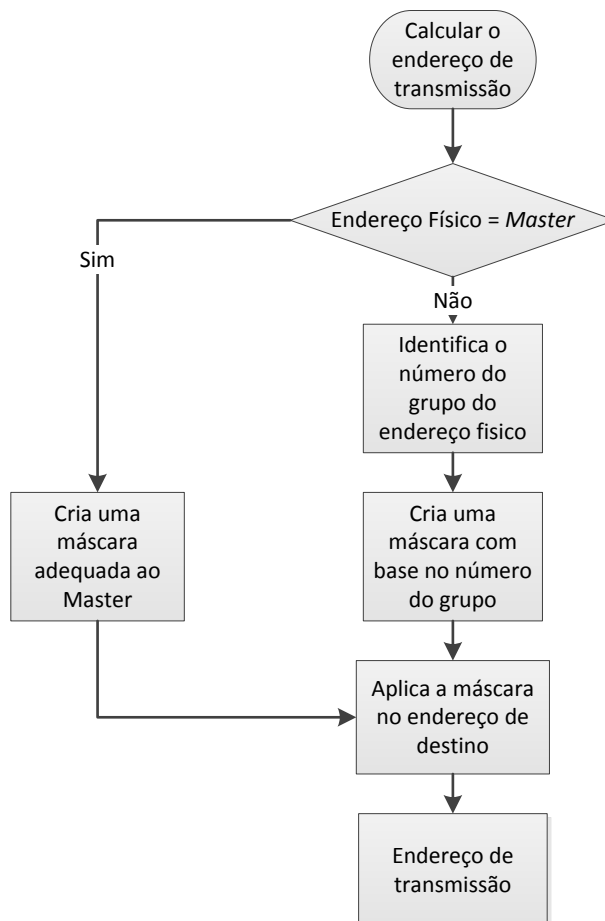


Figura 5.12: Cálculo do endereço de reencaminhamento

No cálculo do endereço de transmissão começa-se por fazer uma distinção se o endereço físico do equipamento é o *Master* ou não. Se for o *Master*, salta-se um conjunto de procedimentos e assume-se que este pertence ao grupo de *Slaves* número “um”. Caso o endereço físico seja diferente do *Master*, realiza um conjunto de operações que permitem determinar o número do grupo de *Slaves*. Após determinar o número do grupo, cria-se uma máscara através desse número. A máscara criada também depende se o destino da mensagem for o *Master*. A aplicação da máscara permite determinar o endereço de transmissão do próximo *Slave* para onde será transmitida a mensagem.

Antes de reencaminhar a mensagem é necessário configurar o módulo nRF24L01+ com o endereço de transmissão anteriormente determinado. Depois de configurado é só enviar a mensagem e esperar pelo do ACK enviado pelo recetor.

Na Figura 5.13 é representado um exemplo de comunicação entre diversos equipamentos, tendo com origem o computador (PC) e destino o *Slave 0x55*.

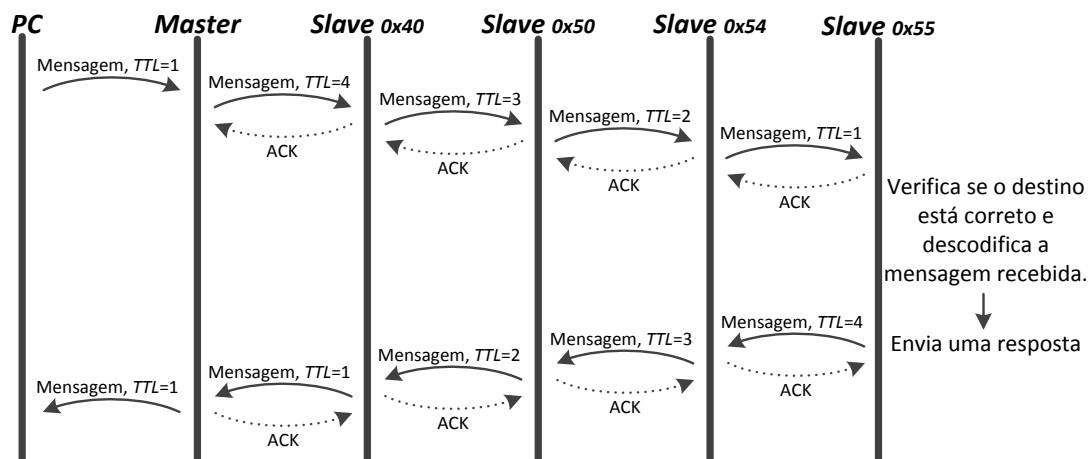


Figura 5.13: Reencaminhamento de mensagens entre equipamentos

A partir do momento em que a mensagem é gerada, todos os campos permanecem inalteráveis ao longo do percurso, excepto o *TTL* que é decrementado a cada transmissão como se pode ver pela Figura 5.13 e o *CRC* que é novamente calculado.

5.2 Master

O *Master* é a unidade central do sistema de Irrigação, cabe a este ser o “cérebro” das operações. A unidade central é composta pelo seu próprio microcontrolador, um módulo de comunicação RF (nRF24L01+) e um *Real-Time Clock*. Ao *Master* está também agrupado um computador que irá permitir ao utilizador comandar todas as operações.

Tanto o *Master* como os *Slaves* foram programados em C e utilizou-se o *MpLab X IDE* da *Microchip* como *software* de programação.

O *Master* comunica por RF com os *Slaves* e por RS-232 com o computador, em ambas as comunicações o *Master* foi programado de modo a enviar e a receber mensagens *Modbus Beta*. Em qualquer uma das comunicações sempre que seja detetado erros na mensagem recebida através do cálculo do *CRC*, isto é, quando o *CRC* calculado no recetor não for igual ao *CRC* enviado do transmissor, a mensagem é imediatamente descartada. Ao longo da programação quer do *Master* quer dos *Slaves* houve sempre a preocupação de criar um sistema que permita obter

respostas rápidas, o facto da mensagem com erros ser imediatamente descartada, evita que haja desperdício de recursos, nomeadamente perda de tempo no processo da descodificação de mensagens.

No microcontrolador do *Master* foram explorados diversos periféricos internos do microcontrolador, alguns dos quais serão apresentados ao longo deste subcapítulo. O *Master* comunica com o Computador por *RS-232*, com o módulo nRF24L01+ por *SPI* e com o *RTC* por *I²C*, como é ilustrado na Figura 5.14 e apresentado em esquema elétrico no Anexo E. Inicialmente o *RTC* também seria para comunicar por *SPI*, mas devido a incompatibilidades de montagem no protótipo, optou-se então por comunicar via *I²C*. Como as portas de comunicação *SPI* e *I²C* do microcontrolador estão nos mesmos pinos, houve a necessidade de articular muito bem a programação de modo a que as comunicações não entrem em conflito e que seja possível comunicar individual com o *RTC* e com o nRF24L01+.

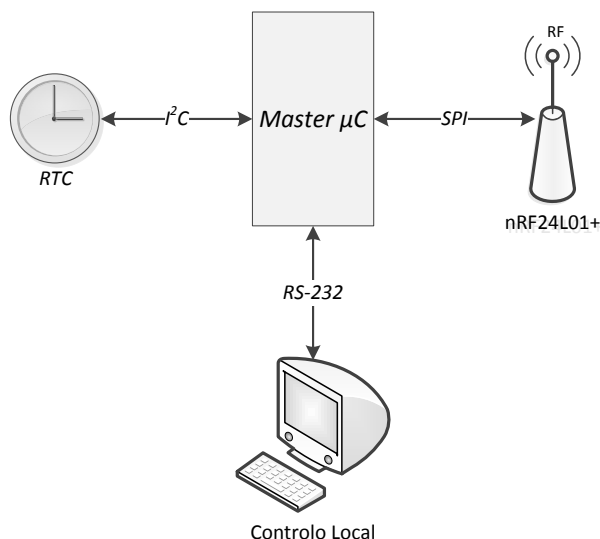


Figura 5.14: Comunicações associadas ao Master

As mensagens transmitidas entre o *Master* e o Computador via *RS-232* têm um duplo mecanismo de deteção de erros de mensagem, porque é utilizado internamente o *CRC* nas mensagens *Modbus Beta* e ainda foi configurado o *bit* de paridade da comunicação *RS-232*. A configuração do *bit* de paridade permitiu adquirir mais conhecimentos em relação aos recursos internos do microcontrolador, e ainda proteger as mensagens contra possíveis erros de comunicação.

O bloqueio do computador é um problema comum na informática, ora por falhas no *software* ora por outros motivos, nos microcontroladores também existe este problema. Quando o microcontrolador bloqueia perde-se o controlo total do microcontrolador, o que no caso do

Master iria colocar em causa desempenho global do sistema. Desta forma para combater este problema os microcontroladores possuem um recurso que é designado por *Watchdog Timer* (*WDT*), este permite que o microcontrolador reinicie o programa em caso de bloqueio. [51] O tempo máximo até ocorrer a reinicialização é configurável e no caso do microcontrolador selecionado o tempo pode ser definido entre os 4 milissegundos e os 2,18 minutos. [39]

Quando o programa é reinicializado, ora através do *Watchdog Timer* ora por falha de energia, todas as configurações (por exemplo: modo de funcionamento Manual/Automático) e as operações que estavam a decorrer são perdidas. Para combater este problema foram gravados alguns dados mais importantes na memória *EEPROM*¹ interna do microcontrolador, que possui 256 endereços de memória.

Na Tabela 5.4 é apresentada uma descrição dos dados gravados na *EEPROM*, e o respetivo endereço de memória onde os dados são armazenados.

Tabela 5.4: Descrição dos dados gravados na *EEPROM*

Endereço de Memória:	Descrição:
2	Modo de Funcionamento dos Atuadores
3	Modo de Funcionamento dos Sensores
4	Alarme do <i>RTC</i>
5	Programa de Rega Atual
6	Estado do Programa de Rega Atual
11 a 19	Endereço do <i>Slave</i> de cada eletroválvula
21 a 29	Pino do <i>Slave</i> de cada eletroválvula
31 a 39	Programa de Rega de cada eletroválvula
41 a 49	Endereço do <i>Slave</i> de cada sensor
51 a 59	Pino do <i>Slave</i> de cada sensor
100	Hora do <i>RTC</i>
101	Minutos do <i>RTC</i>

Os 10 primeiros endereços de memória esclarecem o funcionamento do *Master*, mais concretamente se está a funcionar no modo Manual ou Automático (atuadores e sensores têm modos independentes), se o relógio de rega está ativo, qual o programa de rega que estava a decorrer e se o programa de rega ainda estava a regar ou já estava a desligar a rega. Do endereço 11 ao 39 é armazenada a informação associada às eletroválvulas, qual o endereço do *Slave* (endereço de comunicação) e o pino onde está instalada a eletroválvula, e ainda qual o programa de rega a esta está agregada. Do 41 ao 59 é alocada localização de cada sensor, endereço do *Slave*

¹ *EEPROM* é uma memória não volátil, isto é, mesmo quando desligada a sua informação permanece armazenada.

(endereço de comunicação) e pino. No endereço 100 e 101 é armazenada a última hora (minutos e horas) recebida do computador.

A informação alocada na *EEPROM* descrita acima irá permitir que o *Master* consiga retomar todas as operações que estavam a decorrer antes de ter sido reinicializado, através do *Watchdog Timer* ou por falha de energia elétrica.

5.3 *Slave*

O *Slave* é um equipamento que foi projetado para desempenhar diversas funções, sendo algumas delas bastante complexas. Todos os *Slaves* foram programados de modo a poderem decodificar e transmitir mensagens *Modbus Beta*, e permitirem:

- Ligar/desligar saídas;
- Ler entradas analógicas e digitais;
- Ler/Escriver em registo;
- Alterar parâmetros internos do *Slave*;
- Reencaminhar as mensagens por rádio frequência;
- Comandar outros equipamentos, nomeadamente autómatos e microcontroladores, que utilizem o protocolo *Modbus RTU* via *RS-232*.

Cada *Slave* é composto obrigatoriamente por um microcontrolador e um módulo RF (nRF24L01+), mas poderá ser constituído por mais elementos (sensores e eletroválvulas), dependendo da função de cada um. Os *Slaves* para além de comunicarem via *SPI* com o módulo de rádio frequência foram ainda programados de modo a disponibilizar quatro portas de entrada analógica, uma porta de entrada digital, seis portas de saída digital e uma porta de comunicação *RS-232* (são necessários os dois pinos do microcontrolador: TX e RX). Na Figura 5.15 e no Anexo F em esquema elétrico, é apresentado o modelo mais complexo dos *Slaves*, que possui as várias funcionalidades.

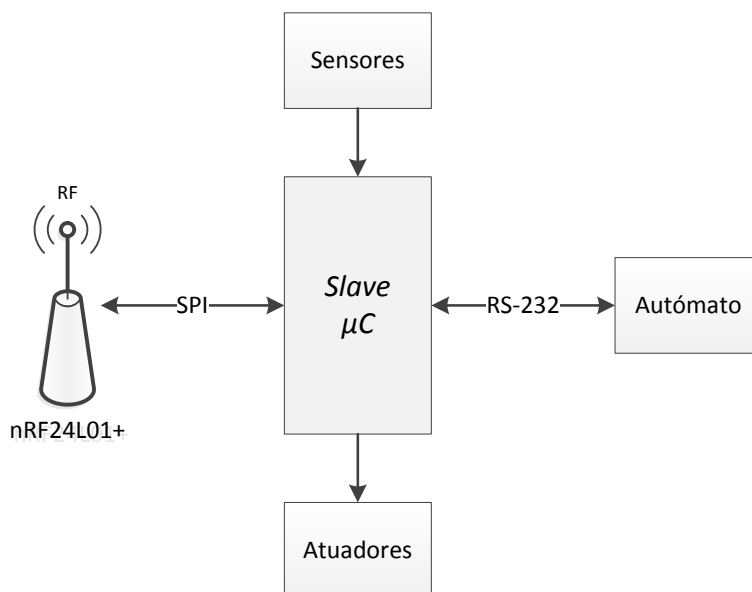


Figura 5.15: Comunicações associadas ao Slave

O *Slave* poderá desempenhar apenas a função de reencaminhar as mensagens, dispensando a implementação de sensores e atuadores.

O recurso *Watchdog Timer* tal como no *Master* também está ativo nos *Slaves*, com o objetivo de evitar possíveis bloqueios do equipamento.

Quando existia uma reinicialização do *Slave*, através do *Watchdog Timer* ou por falha de energia elétrica, o estado de cada saída era perdido, ou seja, se uma determinada saída estava ativa, depois do equipamento reinicializar a saída deixava de estar ativa. Para evitar que esta situação ocorresse, o estado de cada um dos pinos de saída digitais foi alocado na memória *EEPROM* interna do microcontrolador. Esta informação é armazenada na *EEPROM* sempre que o estado de uma das saídas é alterado, sendo esta informação alocada no endereço de memória 23 até ao 28. O *Slave* depois de reinicializar irá consultar os dados armazenados na *EEPROM* de modo a repor o estado de cada um dos pinos de saída.

O *Slave* recebe diversas ordens do *Master*, para cada ordem há sempre uma resposta. No caso de ser uma ordem (função) para alterar o estado de umas das saídas, o *Slave* irá alterar a saída, faz um compasso de espera (10 microssegundos¹), lê a saída alterada e envia uma resposta. O facto de se realizar uma leitura depois da alteração da saída permite ter a certeza que aquela saída ficou realmente com o estado que era pretendido.

Em relação às entradas analógicas o *Slave* foi projetado para ler de 5 em 5 segundos o valor em cada entrada analógica e depois gravar o valor lido numa variável. Quando o *Slave*

¹ Segundo o manual do fabricante do microcontrolador PIC18LF2520, o tempo máximo que demora a ativar/desativar uma saída é 60 nanossegundos, por isso o tempo de espera é o suficiente.

recebe uma ordem para ler de uma determinada entrada, o *Slave* irá ler a informação gravada na variável. Isto permite que a resposta do *Slave* seja mais rápida, uma vez que não será necessário esperar pelo tempo mínimo obrigatório que é essencial para realizar uma leitura de uma entrada analógica.

Para facilitar a utilização dos *Slaves* e reduzir a probabilidade de haver ligações mal conectadas, que prejudicam a comunicação sem fios, foi desenvolvida uma placa de circuito impresso (PCB), apresentada na Figura 5.16.

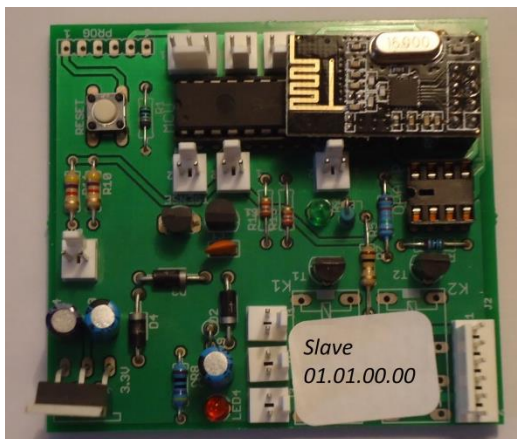


Figura 5.16: Placa de circuito impresso desenvolvida

A placa desenvolvida possui essencialmente o microcontrolador PIC18FL2520 e o módulo nRF24L01+, esta foi projetada em parceria com outro trabalho externo, de modo a reduzir os custos de fabrico e que pudesse ser útil para ambos os trabalhos.

5.4 Interface com o utilizador proposta

A interface que permite controlar e monitorizar todo o sistema de Irrigação foi desenvolvida no *software Microsoft Visual Basic 2010*. A escolha do desenvolvimento da interface neste *software* coincidiu na possibilidade de criar uma aplicação que pode ser instalada nas plataformas *Microsoft Windows*, durante o desenvolvimento da aplicação também foi possível constatar que este *software* permite o uso de base de dados internas, sem que haja a necessidade de instalar novos *softwares*.

Aplicação desenvolvida possui diversas funcionalidades, das quais se destaca:

- Acesso condicionado à aplicação;
- Seleção do Modo Manual/Automático quer para Atuadores quer para Sensores;
- Histórico de todas as mensagens trocadas entre os diversos equipamentos;
- Seleção do *site* que permite recolha de dados meteorológicos;

- Consulta meteorológica por localidade através de informação recolhida no *site* do IPMA¹ ou *GlobalWeather*²;
- Armazenamento dos dados meteorológicos recolhidos;
- Adicionar/Remover eletroválvulas;
- Alterar a localização das eletroválvulas;
- Adicionar/Remover sensores;
- Definir o tipo de sensor;
- Alterar a localização dos sensores.

Após o desenvolvimento da aplicação foi necessário recorrer a uma ferramenta da *Microsoft Visual Basic*, designada por *Publish*, esta ferramenta permitiu que aplicação se tornasse transportável e pudesse ser instalada em computadores que utilizem a plataforma *Microsoft Windows*. A utilização de base de dados da própria *Microsoft Visual Basic* obriga a que os computadores tenham pré-requisitos³ para proceder à instalação e execução da aplicação desenvolvida, para que esta funcione com êxito. Ao utilizar a ferramenta *Publish*, esta verifica automaticamente quais serão os pré-requisitos que o computador terá de ter para realizar a instalação da aplicação. [52]

Quando o utilizador começar a instalar aplicação no computador, o utilizador será notificado dos pré-requisitos que o computador deverá ter e se deseja instala-los, caso o utilizador aceite a sua instalação o computador encarregar-se-á de transferir e instalar os pré-requisitos exigidos. Quando terminar a instalação dos pré-requisitos o computador iniciará automaticamente a instalação da aplicação desenvolvida.

Após a instalação da aplicação no computador, é necessário ligar o *Master* através de uma porta *USB* do computador (Porta Série) para que haja comunicação entre ambos. Na aplicação desenvolvida foi implementado o *Modbus Beta* para que o computador pudesse comunicar com o *Master*.

5.4.1 Inicialização

Ao iniciar a interface/aplicação o utilizador deverá inserir as suas credenciais de acesso para ter acesso total à aplicação, na Figura 8.1. do Anexo B é apresentado o ecrã de “*Login*”.

¹ IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera

² *GlobalWeather* - Previsão meteorológica para as principais cidades do mundo.

³ Pré-requisitos - Componentes da aplicação que devem estar instalados no computador de destino, para proceder à instalação e execução da aplicação com sucesso. [52]

Depois de colocar as credenciais de acesso corretamente, será apresentada a janela “Principal” da aplicação, Figura 5.17. Esta é composta por diversos menus e separadores, e permite ainda visualizar a hora e data atual.



Figura 5.17: Ecrã - Janela Principal

Antes de iniciar a comunicação, o utilizador precisará de configurar a comunicação da porta série para que possa haver comunicação entre o Computador e o *Master*. Para proceder à configuração da porta série, o utilizador deverá ir ao menu “Configurações”> “Porta Série”, ao clicar na “Porta Série” abrir-se-á a janela de configuração (Figura 5.18).

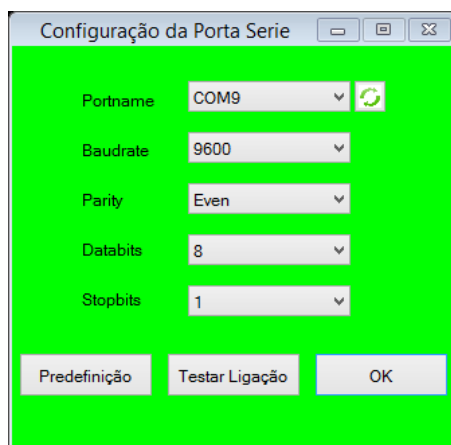


Figura 5.18: Ecrã - Configuração da Porta Série

A aplicação foi programada de modo a detetar automaticamente todas as portas série que estejam conectadas ao computador e apresentar uma lista na “caixa de listagem”¹ do “Portname” da Figura 5.18. O ecrã de “Configuração da Porta Série” permite testar se os dois equipamentos, Computador e *Master*, estão devidamente interligados e configurados, se ao clicar no botão “Testar Ligação” o teste for positivo será apresentada uma notificação com a respetiva informação (Figura 8.2.a do Anexo B), caso dê negativo o utilizador será aconselhado a verificar a ligação e as devidas configurações (Figura 8.2.b do Anexo B).

Após a configuração da porta série é apenas necessário “Iniciar a Comunicação” (botão no canto superior esquerda da Figura 5.17), depois de iniciar a comunicação cada vez que o utilizador clicar no separador “Atuadores” ou “Sensores” a aplicação irá mandar uma mensagem ao *Master* a perguntar qual o modo de funcionamento (Manual ou Automático) atual, dependendo se o separador que estiver aberto se for dos “Atuadores” ou dos “Sensores”. A aplicação depois de receber a resposta do *Master* irá adequar o estado da interface para o modo Manual ou Automático obedecendo à informação recebida. Caso a porta série se desconecte do computador, depois de a comunicação ser iniciada, será apresentada de imediato uma notificação de erro no ecrã.

Passado 30 segundos depois de ter sido iniciada a comunicação, Computador-*Master*, a aplicação está encarregue de informar o *Master* da hora atual do computador. O *Master* posteriormente irá informar através de comandos I^2C o *RTC* da hora recebida. Após a primeira sincronização da hora, as próximas sincronizações irão ocorrer de 30 em 30 minutos.

¹ Caixa de Listagem – é um elemento de interface gráfica designado em inglês por “*Combo Box*” que permite apresentar uma lista de opções.

5.4.2 Funcionalidades

A aplicação possui modos independentes tanto para “Atuadores” com para “Sensores”, uma vez que o gestor do campo de Golfe num determinado dia pode não estar interessado em regar a relva automaticamente, mas continuar interessado em recolher de forma automática (de 30 em 30 segundos) a informação proveniente dos diversos sensores instalados.

Quando os “Atuadores” estão em modo Automático, o utilizador fica impedido de alterar manualmente o estado de todos os atuadores. Só no modo “Automático” é que se usufrui das funcionalidades do *RTC*, este foi configurado para que o seu alarme fique ativo à uma hora da manhã todos os dias, quando o alarme ficar ativo o *Master* iniciará a rega automática. A rega foi programada previamente para ocorrer à uma hora da manhã, uma vez que existe menos radiação solar do que durante o dia e coincide com as horas em que a tarifa elétrica é mais barata. Quando se inicia o processo de rega o *Master* envia mensagens para ligar todas as eletroválvulas do programa de rega 1, quando terminar o tempo de rega o *Master* volta a enviar mensagens a todas as eletroválvulas do programa 1, mas desta vez para as desligar. Após concluir o programa 1, o *Master* iniciará o programa 2, e assim sucessivamente até atingir o sétimo programa de rega. Quando terminar o sétimo programa, o *Master* desligará o alarme do *RTC*, que só voltará a ficar ativo no dia seguinte à mesma hora. Todas as mensagens enviadas, durante o processo de rega automático, serão reencaminhadas para o Computador, para que aplicação possa armazenar na sua base de dados o histórico de comunicações existentes.

Na janela dos “Atuadores”, Figura 5.19, o utilizador poderá alterar o modo de funcionamento, Manual/Automático, bem como o estado de cada eletroválvula caso esteja em modo Manual.



Figura 5.19: Ecrã - Atuadores em Modo Automático

A janela do “Sensores”, Figura 8.3 do Anexo B, permite ao utilizador seleccionar o modo de funcionamento, Manual/Automático, bem como atualizar momentaneamente cada um dos sensores.

5.4.1 Previsão Meteorológica

A aplicação desenvolvida permite recolher informação meteorológica através do *site* do IPMA ou do *site GlobalWeather*. O utilizador pode seleccionar a qual dos *sites* pretende ir recolher informação e ainda pode seleccionar a informação meteorológica por localidade, dependendo da fonte/*site* existem mais ou menos localidades que podem ser seleccionáveis.

Na Tabela 5.5 é exposta uma lista das localidades que cada *site* oferece, de modo adequar a informação meteorológica a cada caso. Na aplicação desenvolvida estão disponíveis todas estas localidades dependendo da fonte onde se pretende ir recolher a informação meteorológica.

Tabela 5.5: Lista de localidades das fontes Meteorológicas

IPMA [53]	GlobalWeather [54]
Aveiro (Universidade)	Beja
Beja	Bragança
Bragança	Faro (Aeroporto)
Cabo Carvoeiro	Flores (Açores)
Castelo Branco	Funchal (S. Catarina)
Coimbra (Aeródromo)	Horta (Castelo Branco, Açores)
Évora (Aeroporto)	Lajes (Açores)
Faro (Aeroporto)	Lisboa (Portela)
Flores (Aeroporto)	Ponta Delgada (Nordela, Açores)
Funchal	Porto (Pedras Rubras)
Horta (Obs. Príncipe Alberto Mónaco)	Porto Santo
Leiria (Aeródromo)	Santa Maria (Açores)
Lisboa (G. Coutinho)	Vila Real
Ponta Delgada (Aeroporto)	
Penhas Douradas	
Portalegre	
Porto Santo	
Porto (Aeroporto)	
Sagres	
Santarém, Fonte Boa	
Sines	
Viana do Castelo, Chafé	
Vila Real	
Viseu (Aeródromo)	

Inicialmente optou-se apenas por recolher informação do *site GlobalWeather*, uma vez que processar a sua informação na aplicação desenvolvida era rápido e simples, pois esta fonte disponibiliza os dados em *XML*. O *XML (eXtensible Markup Language)* é uma recomendação de formatação de texto, que incide numa separação fácil do conteúdo da formatação, o que simplifica o processamento da informação recolhida. Contudo esta fonte estava constantemente inacessível ou demasiado lenta a fornecer a informação.

De forma a resolver este problema optou-se então por recolher a informação meteorológica no *site IPMA* (Instituto Português do Mar e da Atmosfera). O facto de recolher a informação neste *site* trazia algumas vantagens, é uma fonte nacional credível, permite recolher informação de diversas localidades em Portugal, dispõem de um vasto leque de informações e a informação é atualizada praticamente de hora a hora. Contudo processar toda a informação *HTML*¹ desta fonte é um processo bastante complexo e inicialmente até foi complicado de gerir,

¹ *HTML (Hyper Text Markup Language)* é a linguagem utilizada para produzir páginas na *Internet*.

devido à sua variadíssima e extensa informação. Para se obter apenas a informação pretendida foi necessário processar, selecionar e filtrar toda a informação. A filtragem permitiu evitar possíveis erros devido à falta de alguma da informação.

Após todo o tratamento da informação, já é possível apresentar a informação recolhida na janela da “Previsão Meteorológica”, Figura 5.20.

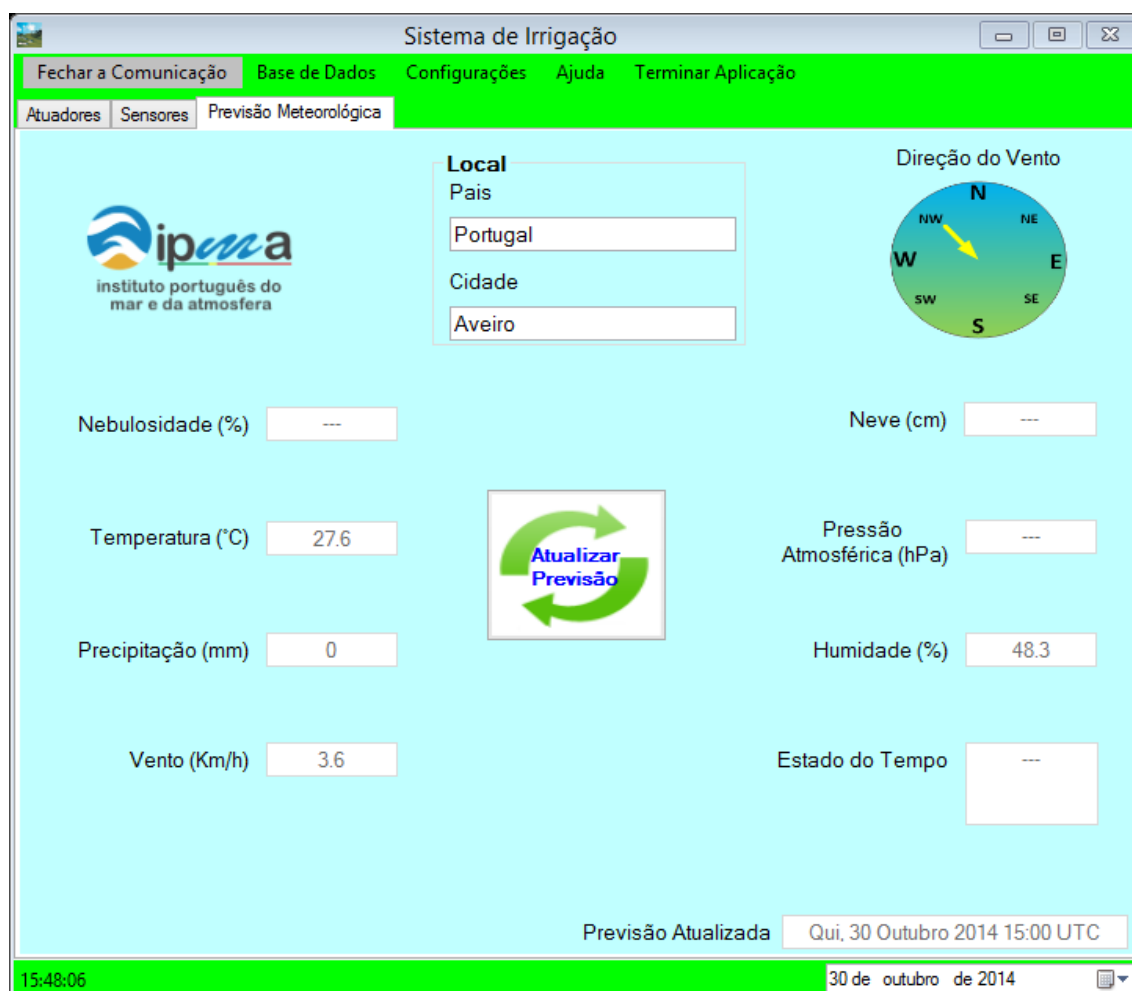


Figura 5.20: Ecrã - Previsão Meteorológica, IPMA

A janela da “Previsão Meteorológica” foi projetada de maneira a que informação pudesse ser atualizada manualmente ou automaticamente. Cada vez que a aplicação for iniciada, esta irá atualizar a previsão meteorológica ao fim de 30 segundos e após a primeira atualização irá ocorrer de 15 em 15 minutos. Na janela da “Previsão Meteorológica” do IPMA, Figura 5.20, é apresentada a nebulosidade (%), temperatura (°C), precipitação (mm), vento (Km/h), neve (cm), pressão atmosférica (hPa), humidade (%), informações sobre o estado do tempo, data e hora da atualização da informação no *site* e ainda é possível visualizar a direção do vento através de um conjunto de imagens (canto superior direito da Figura 5.20).

Embora não se tenha optado pelo *site GlobalWeather*, pelos motivos que foram descritos anteriormente, também foi projetada uma janela onde se pode visualizar a informação recolhida deste site. Esta janela é apresentada na Figura 8.4 do Anexo B.

5.4.2 Configurações

O menu “Configurações” permite alterar diversos parâmetros: nos atuadores, no cálculo do tempo de irrigação, na localidade da previsão meteorológica, na porta série e ainda nos sensores. Quando a comunicação Computador-*Master* não está iniciada, só é permitido que o utilizador altere os parâmetros da porta série ou da localidade da previsão meteorológica, todas as restantes opções ficam bloqueadas. Este bloqueio deve-se ao facto que as restantes alterações têm de ser obrigatoriamente transmitidas ao *Master*, senão o sistema de Irrigação não irá desempenhar as funções para o qual foi projetado. Uma das vantagens desta limitação é mostrada pelo seguinte exemplo: caso o utilizador adicione uma eletroválvula ao sistema de Irrigação, o *Master* não irá conseguir atuar sobre essa eletroválvula, uma vez que no momento da configuração da eletroválvula o *Master* não estava interligado com a aplicação desenvolvida.

Quando a comunicação Computador-*Master* está iniciada, é possível aceder às opções que anteriormente estavam bloqueadas, contudo a possibilidade de alterar a configuração da porta série está interdita.

Para adicionar ou remover eletroválvulas à interface é necessário ir a “Configurações” > “Atuadores” e irá abrir uma nova janela. Nessa janela irá surgir a informação que diz apenas respeito à configuração de cada eletroválvula, Figura 5.21.

	Eletroválvula	Visível	Localização (X)	Localização (Y)	Slave	Pino	Programa
▶	1	<input checked="" type="checkbox"/>	490	212	01000000	23	1
	2	<input checked="" type="checkbox"/>	623	55	01010000	23	1
	3	<input type="checkbox"/>	539	297	01010100	23	1
	4	<input type="checkbox"/>	260	330	01010101	23	2
	5	<input type="checkbox"/>	176	380	01000000	24	2
	6	<input type="checkbox"/>	146	290	01010000	24	2
	7	<input type="checkbox"/>	299	179	01010100	24	3
	8	<input type="checkbox"/>	432	175	01010101	24	3
	9	<input type="checkbox"/>	346	244	01000000	25	3

Figura 5.21: Ecrã - Configuração dos Atuadores

Na janela de “Configuração dos Atuadores” o utilizador poderá adicionar ou remover eletroválvulas, alterar a sua localização (endereço físico do *Slave* e respetivo pino), definir o programa de rega e ainda definir a posicionamento da eletroválvula na janela dos “Atuadores” Figura 8.5 do Anexo B.

No fim da alteração da localização da eletroválvula é instantaneamente verificado se a seleção do *Slave* e do pino está correta, uma vez que não pode haver duas eletroválvulas no mesmo pino do mesmo *Slave*. Esta verificação é realizada pela aplicação desenvolvida e caso se verifique que a alteração não é possível, é emitida uma mensagem de erro e é reposta a configuração anterior.

A alteração do posicionamento da eletroválvula na janela está limitada, uma vez que a eletroválvula não pode ser posicionada em qualquer sítio, nem permite que o utilizador insira caracteres não numéricos nas coordenadas X e Y do posicionamento da eletroválvula. Na Figura

5.22 é apresentada a área de edição do posicionamento das eletroválvulas, que irá aparecer neste caso na janela dos “Atuadores”.



Figura 5.22: Área de edição do posicionamento da eletroválvula na interface

O sistema de Irrigação permite que o utilizador distribua as eletroválvulas por 7 programas, os programas de rega podem ser sectores de rega dependendo da caracterização do gestor de rega. Cada programa está limitado a 3 eletroválvulas por programa, esta limitação previne que o sistema de captação ou de distribuição de água tenha capacidade de fornecer o caudal necessário para o funcionamento correto dos aspersores de rega. Cada eletroválvula possui um conjunto de aspersores, se houvesse demasiados aspersores no mesmo programa de rega, o caudal de água fornecido podia ser insuficiente para o funcionamento dos aspersores. A limitação de 3 eletroválvulas por programa é imposta e verificada pela própria aplicação desenvolvida, reduzindo assim possíveis erros do utilizador.

Após o utilizador realizar as alterações deverá clicar no botão “Gravar” da Figura 5.21, ao clicar neste botão irá gravar as devidas alterações na base de dados interna da aplicação e ainda enviar para o *Master* a nova localização (*Slave* e pino) e o novo programa de rega da eletroválvula que esteve a ser alterada. Caso o utilizador tenha removido a eletroválvula, o *Master* será informado do mesmo e este irá limpar a informação que possui-a dessa eletroválvula. O facto de gravar nas bases de dados interna, quer da aplicação quer do *Master* (armazenamento da informação na *EEPROM* do microcontrolador), permite que após uma reinicialização de ambos os equipamentos (Computador e *Master*) a informação permaneça intacta.

No diz respeito à adição ou remoção de sensores é necessário ir a “Configurações”> “Sensores” e irá abrir uma nova janela, nesta irá aparecer informação que diz apenas respeito à configuração de cada sensor, Figura 8.6 do Anexo B.

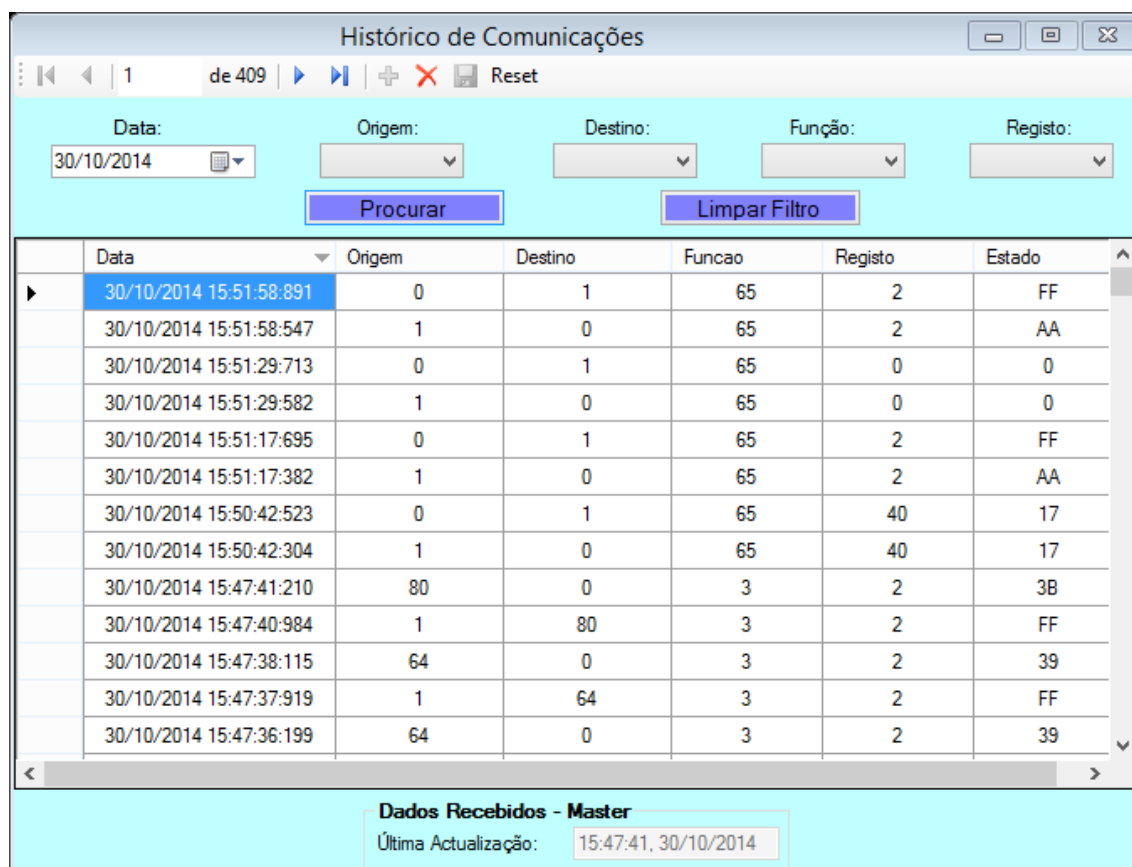
Esta nova janela é idêntica à que permite configurar as eletroválvulas (Figura 5.21), difere apenas em duas coisas, não existe a possibilidade de seleccionar um programa de rega e foi adicionada a opção que permite ao utilizador seleccionar o tipo de sensor (temperatura, humidade

do sol, humidade do ar) que está a utilizar. Todas as restantes funcionalidades que estão implementadas na janela de configuração dos atuadores se mantêm, incluindo o processo de gravação que é sempre necessário realizar após as devidas alterações.

No menu “Configuração” é ainda possível configurar o comportamento do sistema de irrigação perante as condições meteorológicas. Quer isto dizer que o gestor do sistema de irrigação deverá atribuir previamente os pesos que cada uma das características meteorológicas contribui para determinar a duração rega.

5.4.3 Base de Dados

No menu “Base de Dados” são apresentadas duas opções, “Comunicações” e “Meteorologia”. Na base de dados das “Comunicações” são armazenadas todas as mensagens trocadas entre os equipamentos (Computador, *Master* e *Slaves*), incluído as mensagens de configuração do *Master*. Na Figura 5.23 são apresentados alguns dos valores que foram armazenados na base de dados das “Comunicações”.



Data	Origem	Destino	Funcao	Registo	Estado
30/10/2014 15:51:58:891	0	1	65	2	FF
30/10/2014 15:51:58:547	1	0	65	2	AA
30/10/2014 15:51:29:713	0	1	65	0	0
30/10/2014 15:51:29:582	1	0	65	0	0
30/10/2014 15:51:17:695	0	1	65	2	FF
30/10/2014 15:51:17:382	1	0	65	2	AA
30/10/2014 15:50:42:523	0	1	65	40	17
30/10/2014 15:50:42:304	1	0	65	40	17
30/10/2014 15:47:41:210	80	0	3	2	3B
30/10/2014 15:47:40:984	1	80	3	2	FF
30/10/2014 15:47:38:115	64	0	3	2	39
30/10/2014 15:47:37:919	1	64	3	2	FF
30/10/2014 15:47:36:199	64	0	3	2	39

Dados Recebidos - Master
Última Actualização: 15:47:41, 30/10/2014

Figura 5.23: Ecrã - Histórico de Comunicações

Na janela do “Histórico de Comunicações”, Figura 5.23, é possível realizar uma filtragem por data dos dados armazenados. A esta filtragem podem ser ainda adicionados mais filtros, “Origem”, “Destino”, “Função” e “Registro”. Na Figura 5.24 é apresentado um exemplo de filtragem dos dados armazenados, com os filtros data (30/10/2014), destino (01000000 ou 64 em decimal) e função (5).

Histórico de Comunicações

1 de 19

Reset

Data: 30/10/2014 Origem: Destino: 01000000 Função: 5 Registro:

Procurar Limpar Filtro

	Data	Origem	Destino	Funcao	Registro	Estado
▶	30/10/2014 15:39:04:567	1	64	5	17	0
	30/10/2014 15:38:58:678	1	64	5	17	FF
	30/10/2014 15:32:10:714	1	64	5	18	0
	30/10/2014 15:32:09:535	1	64	5	17	0
	30/10/2014 15:32:04:618	1	64	5	18	FF
	30/10/2014 15:32:03:846	1	64	5	18	0
	30/10/2014 15:32:02:702	1	64	5	18	FF
	30/10/2014 15:32:01:430	1	64	5	18	0
	30/10/2014 15:32:00:082	1	64	5	18	FF
	30/10/2014 15:31:59:141	1	64	5	18	0
	30/10/2014 15:31:58:352	1	64	5	18	FF
	30/10/2014 15:31:57:484	1	64	5	18	0
	30/10/2014 15:31:50:095	1	64	5	18	FF

Dados Recebidos - Master

Última Atualização: 15:47:41, 30/10/2014

Figura 5.24: Ecrã - Filtragem do Histórico de Comunicações

Esta janela possui ainda uma opção para apagar todos os dados armazenados na base de dados (“Reset”), com objetivo de evitar possíveis descuidos do utilizador, depois de clicar em “Reset” irá surgir uma nova janela (Figura 8.7 do Anexo B) a pedir que o utilizador introduza as credenciais de acesso para prosseguir com a opção de apagar todos os dados.

Na base de dados da “Previsão Meteorológica” é armazenada a informação recolhida que foi apresentada na janela das informações meteorológicas. Para evitar uma repetição excessiva dos dados armazenados, os dados apenas serão armazenados na base de dados quando a hora da última atualização da informação no *site*, for diferente da última hora registada na base de dados. Esta janela, Figura 8.8 do Anexo B, permite fazer uma filtragem dos dados por data, e possui ainda a opção de “Reset” sendo nesta também necessário introduzir as credenciais de acesso para apagar todos os dados armazenados.

5.4.4 Menu “Ajuda”

O menu “Ajuda” dispõe de duas opções, “Erros” e “Versão”, ambas as opções podem ser consultadas em qualquer momento.

A janela “Versão”, Figura 8.9 do Anexo B, permite consultar a versão da aplicação, autor, uma descrição da aplicação, entre outras informações.

Durante a implementação do sistema de Irrigação foram detetados alguns erros na comunicação sem fios. Estes erros podem estar relacionados com uma má conexão do módulo RF com o microcontrolador, ou entre outras possibilidades poderá significar que um dos equipamentos está danificado. Por vezes detetar a causa que originava um determinado erro não era tarefa fácil e era bastante dispendioso a nível tempo, assim surgiu o conceito de identificar e enumerar os diversos erros que foram surgindo ao longo da implementação do sistema de Irrigação.

Na janela “Lista de Erros”, Figura 8.10 do Anexo B, o utilizador pode consultar a lista de erros que foram identificados bem como a sua possível razão. Para identificar os vários erros foram realizados imensos testes de forma a identificar qual era a sua causa, a lista de erros foi sendo completada ao longo da implementação. A lista de erros elaborada está na Tabela 8.3 do Anexo D, a maioria dos erros foram identificados através das *flag's* do módulo RF, por exemplo se um determinado *Slave* não respondeu ao *Master*, mas a *flag* de transmissão com sucesso está ativa, é sinal que o *Master* conseguiu enviar a mensagem e o *Slave* enviou o *ACK* após a receção da mensagem, logo ambos os módulos RF (*Master* e *Slave*) estão a funcionar corretamente, havendo neste caso um erro apenas no *Slave*.

Na Figura 5.25 é apresentado um exemplo de aviso de erro na comunicação RF, com o respetivo numero a identificar o erro (ERRO 12) e em que *Slave* ocorreu (*Slave* 01000000).

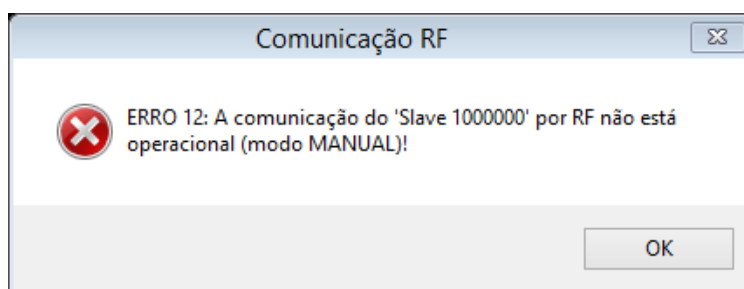


Figura 5.25: Ecrã - Aviso de erro na comunicação RF

5.5 Análise de resultados do sistema implementado

Na Tabela 5.6 é apresentado o tempo que uma determinada ordem dada pelo utilizador demora a ir ao destino e voltar à sua origem. Esta medição temporal permite determinar o tempo que uma ordem demora a ir da sua origem (Computador – Interface) até chegar ao seu destino, o destinatário processar a informação e o computador receber a resposta dada pelo destinatário.

Tabela 5.6: Tempo de resposta do sistema desenvolvido

Descrição	Origem	Destino	Tempo medido
Ler uma entrada analógica	Computador	<i>Slave</i> 0x40	≈172ms
Ler uma entrada analógica	Computador	<i>Slave</i> 0x50	≈180ms
Ler uma entrada analógica	Computador	<i>Slave</i> 0x54	≈194ms
Ler uma entrada analógica	Computador	<i>Slave</i> 0x55	≈200ms
Mudar o estado de uma saída digital (ON/OFF)	Computador	<i>Slave</i> 0x40	≈235ms
Mudar o estado de uma saída digital (ON/OFF)	Computador	<i>Slave</i> 0x50	≈250ms
Mudar o estado de uma saída digital (ON/OFF)	Computador	<i>Slave</i> 0x54	≈259ms
Mudar o estado de uma saída digital (ON/OFF)	Computador	<i>Slave</i> 0x55	≈265ms

A Tabela 5.6 demonstra que o sistema implementado é bastante rápido, tendo em conta o processo de reencaminhamento de mensagens que é complexo e que exige sempre algum tempo de processamento em cada *Slave*, é ainda necessário salientar que as velocidades de comunicação foram configuradas para baixas velocidades. No caso dos módulos nRF24L01+ está configurada para 250 Kbps, podia ser configurada para 2 Mbps o que diminuiria o tempo de resposta, no entanto a distância máxima alcançada seria menor. A comunicação da porta série também poderia ser configurada com uma velocidade superior, por exemplo 115200 *bits* por segundo em vez dos atuais 9600 *bits* por segundo. A variação da velocidade de comunicação afeta o tempo de resposta acima referido.

A rede de *Slaves* projetada permite obter um sistema de Irrigação constituído por 120 *Slaves*, 480 sensores, 720 eletroválvulas e 120 entradas digitais. A aplicação desenvolvida para controlar e monitorizar o sistema de Irrigação, neste momento não será capaz de suportar a 100% todos estes equipamentos, uma vez que foi desenvolvida para integrar 9 sensores e 9 eletroválvulas. Contudo em grosso módulo, a maior parte dos algoritmos que são fundamentais para suportar todos estes equipamentos já estão desenvolvidos, sendo apenas necessário fazer pequenas alterações, de modo a automatizar o funcionamento da aplicação desenvolvida.

6 Conclusões e trabalho futuro

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões gerais da presente dissertação, bem como algumas melhorias que tornarão o protótipo desenvolvido num produto para ser implementado num relvado.

6.1 Conclusões gerais

A água é um recurso limitado e assumindo que os campos de Golfe devido aos seus enormes relvados são grandes consumidores deste recurso, torna-se muito importante ter a consciência da necessidade de aplicar medidas e programas para uma gestão eficiente da água em campos de Golfe. Desta forma desenvolveu-se nesta dissertação uma solução que pretende reduzir os desperdícios de água na irrigação dos relvados do Golfe, sendo esta uma solução económica, de baixo custo e de fácil instalação.

Uma boa gestão da água trás diversos benefícios, além de preservar um recurso que é limitado, é ainda possível reduzir a faturação do consumidor de água sem prejudicar a sua vida nem a qualidade do relvado. A redução do consumo de água permite também poupar a energia que é necessária para o tratamento e distribuição de água.

O “Programa Nacional para o Uso Eficiente de Água” prevê um conjunto de medidas de adequação da gestão da rega, do solo, e das espécies plantadas em campos de Golfe e desportivos. Este programa prevê ainda a utilização de águas de chuva e de águas residuais previamente tratadas para rega de campos desportivos, campos de Golfe e outros espaços verdes de recreio. Adequar as espécies plantadas, principalmente no que diz respeito à relva, é possível reduzir o consumo de água, visto que o uso eficiente da água pelas espécies de climas quentes (C4) é maior do que a eficiência da água por parte das plantas de climas frios (C3). A utilização do substrato “ecoespuma” permite aumentar a capacidade de retenção de água no solo, reduzindo assim o desperdício de água. A ecoespuma pode ser instalada no início da construção dos relvados ou em renovação de relvados já existentes. No entanto nem todas as medidas são fáceis de implementar devido ao seu elevado custo de instalação e de implementação.

A solução desenvolvida nesta dissertação pode ser implementada não só nos grandes relvados, mas também nos jardins residenciais e municipais, permitindo desta forma que todos os espaços verdes contribuam para uma redução da exploração dos recursos hídricos. A solução

permite que uma unidade de central controle e monitorize todo o sistema de irrigação de um relvado de forma automática, evitando o controlo permanente do gestor de irrigação.

A utilização do *Modbus Beta*, que não é mais que uma melhoria ao protocolo *Modbus*, que possibilitou a implementação do algoritmo de reencaminhamento, sendo a sua base o protocolo *Modbus* irá permitir que no futuro possam ser adicionados mais equipamentos ao sistema de Irrigação, como por exemplo autómatos.

A utilização de tecnologias de comunicação sem fios nesta solução permite a redução do custo de aquisição da solução proposta, bem como a redução do custo da sua instalação no terreno e ainda evita alterações profundas no relvado.

O algoritmo de reencaminhamento implementado possibilita a utilização de equipamentos de rádio frequência de baixo custo, para comunicar com equipamentos mais distantes, sendo que com o algoritmo implementado o alcance final da comunicação sem fios será quatro vezes maior que o alcance inicial. Podendo sempre optar pelo equipamento de rádio frequência de maior alcance e atingir uma distância máxima de comunicação de 2800 metros.

A interface desenvolvida permite ao utilizador controlar e monitorizar todo o sistema de Irrigação implementado, podendo definir o modo de funcionamento Manual/Automático, consultar a previsão meteorológica, consultar um histórico de comunicações e de previsões meteorológicas, entre outras funcionalidades que foram apresentadas anteriormente.

A solução desenvolvida foi submetida a um teste final, além dos imensos testes que foram efetuados ao longo do desenvolvimento da solução. O teste final teve uma duração de três dias, o sistema funcionou em modo “Automático” tanto para os “Atuadores” como para os “Sensores”, a unidade central esteve sempre conectada a um computador de maneira a registar todas as operações. A recolha de informação dos diversos sensores ocorreu sempre como o mesmo período, e a rega automática da relva (que era composta por diversos programas de rega) iniciou sempre à hora prevista. No que toca à comunicação sem fios e ao algoritmo de reencaminhamento revelaram-se um autêntico sucesso, como uma eficácia de 100%. Quer isto dizer que em cerca de 4000 registos de comunicações todos funcionaram corretamente, ou seja, a mensagem chegou sempre ao destino final. As operações foram todas gravadas nas bases de dados, incluído as previsões meteorológicas.

O desenvolvimento desta dissertação permitiu ao autor consolidar e adquirir diversos conhecimentos em relação aos microcontroladores e os seus recursos internos, desenvolvimento de aplicações em *Microsoft Visual Basic* com bases de dados internas, utilização de *Real-Time Clock*, comunicações sem fios e no desenvolvimento de algoritmos de comunicação.

6.2 Trabalho futuro

No que diz respeito ao trabalho futuro seria interessante desenvolver uma página web onde o gestor do sistema de Irrigação pudesse monitorizar o campo de Golfe.

Ao nível do protótipo desenvolvido, o sistema de rega automático funciona durante um determinado tempo previamente definido, o que por razões temporais não foi possível testar se o sistema através da configuração prévia do utilizador do método de rega, seria capaz de realizar uma rega eficiente tendo em conta as necessidades hídricas da planta e as condições meteorológicas.

A adição de mais sensores, como por exemplo medidor de caudal permitiria detetar se havia fugas de água quando o sistema de Irrigação estivesse totalmente desligado.

Os *Slaves* que desempenhem apenas a função de reencaminhamento de mensagens, ou seja, não possuem nem sensores nem atuadores, podiam ser incorporados com uma bateria que fosse carregada por um painel solar. A alimentação com recurso de baterias evita a necessidade de utilizar vias cabladas para alimentação do equipamento e assim os *Slaves* podiam estar camuflados no meio da vegetação.

A interface deverá ainda permitir que o utilizador configure o tempo de aquisição de dados dos sensores. Os *Slaves* serem capazes de interpretar mensagens *broadcast*, também seria muito interessante, pois permitiria configurar todos os *Slaves* ao mesmo tempo, caso fosse essa a intenção.

7 Bibliografia

1. O Ciclo da Água. *USGS*. [Online] [Citação: 29 de 05 de 2014.] <http://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>.
2. **Globo, Jornal da**. [Online] [Citação: 22 de 10 de 2014.] <http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2014/10/falta-dagua-nas-represas-faz-disparar-venda-de-agua-mineral-em-sao-paulo.html>.
3. **Ambiente, Agência Portuguesa do e Portugal, Governo de**. *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água*. 2012.
4. *Campo de golfe consome tanta água como 60 mil pessoas*. **Peralta, Helena**. s.l. : Jornal de Leiria, 2009.
5. **PortugalGolf**. [Online] [Citação: 27 de 10 de 2014.] http://www.portugalgolf.pt/golfe/golfe_menu.htm.
6. **Abreu, Andreia Sofia Henriques Gonçalves**. *Sistema de monitorização de estufas agrícolas*. Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Aveiro. Aveiro : s.n., 2012. Tese de Mestrado em Engenharia Electrónica e Telecomunicações apresentada à Universidade de Aveiro.
7. **Marques, Pedro Henrique Pinto Ribeiro**. *Sistema de Controlo de Rega com Comunicações Sem Fios*. Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Aveiro. Aveiro : s.n., 2011. Tese de Mestrado de Engenharia Electrónica e Telecomunicações apresentada à Universidade de Aveiro.
8. **J. Morato, S. Cruz, F. Perreira, J. C. Metrôlho**. Multi-Monitorização de Estufa Agrícola. 04 de Setembro de 2001. Artigo Técnico.
9. **Bird, Rain**. Rega de Campos de Golf. [Online] [Citação: 07 de Dezembro de 2013.] http://www.rainbird.pt/17-7251-Fiche-produit-golf2.php?id_produits=304&id_categories=47&n=10&t=1.
10. **Gardena**. Acerca da Gardena. [Online] [Citação: 07 de Dezembro de 2013.] <http://www.gardena.com/pt/about-gardena/>.
11. —. Catalogo de 2013. 2012.

12. **Bird, Rain.** História da Empresa. [Online] [Citação: 07 de Dezembro de 2013.] <http://www.rainbird.pt/17-6427-Historia-da-Empresa.php>.
13. —. Rega Automática de Espaços Verdes. 2013.
14. **Hunter.** Sobre a Hunter. [Online] [Citação: 07 de Dezembro de 2013.] http://www.hunterrega.com/Corporativo/About_Hunter/default.htm.
15. —. Golf Irrigation. [Online] 07 de Dezembro de 2013. <http://www.hunterindustries.com/golf>.
16. —. Surveyor 2. [Online] [Citação: 07 de Dezembro de 2013.] <http://www.hunterindustries.com/irrigation-product/golf-central-control/surveyor-2>.
17. —. Catálogo de Produtos. [Online] [Citação: 07 de Dezembro de 2013.] http://www.hunterirrigacao.com.br/resource_guide/product-catalog.
18. **Cudell.** Catálogo de Rega de Espaços Verdes & Bombas. 2013.
19. **FCUL, CEB &.** Das relvas actuais às do futuro. *Golfe e Ambiente*. [Online] [Citação: 20 de 01 de 2014.] <http://if.fc.ul.pt/golfe/com/relvas.htm>.
20. **Ferreira, Virginia Sofia Gonçalves.** *Gestão Eficiente de Água em Campos de Golfe*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro. 2009. Dissertação de Mestre em Engenharia Civi apresentada à Universidade de Aveiro.
21. **BV, Resinas Agro.** [Online] [Citação: 03 de 11 de 2014.] http://www.aquaresinstechnologies.com/en/resins_agro_b.v/.
22. **Woodson, R. Dodge.** *Sistemas de Rega para Relvados, Jardins e Hortas*. 1999.
23. **Rei, Monte.** [Online] [Citação: 10 de 12 de 2013.] http://www.monte-rei.com/pt/golf_course_map_hole14_par3.html.
24. **IPMA.** [Online] [Citação: 29 de 10 de 2014.] <http://www.ipma.pt/pt/otempo/prev.localidade/index.jsp?localID=1&cidadeID=1>.
25. **EcoCasa.** Exterior - Jardim. [Online] [Citação: 29 de 10 de 2014.] http://www.ecocasa.pt/agua_content.php?id=45.
26. **Cudell, Gustavo.** *Manual de Instalação de Rega*. 2000.
27. **EDP.** Horário Baixa Tensão Normal. *EDP*. [Online] [Citação: 20 de 01 de 2014.] <http://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/horarios/Pages/HorariosBTN.aspx>.

28. —. Tarifas Baixa Tensão Normal até 20,7KVA. *EDP*. [Online] [Citação: 20 de 01 de 2014.] <http://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/BTN/Pages/TarifasBTNate20.7kVA.aspx>.
29. **Research, CAMI.** *CAMI Research*. [Online] [Citação: 20 de 10 de 2014.] http://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/RS232_standard.html.
30. **Santos, José Paulo.** Protocolo de comunicação Rs232. *Apontamentos de Tecnologias de Accionamento e Comando*. 2010/2011.
31. **Modbus.** Modbus FAQ. [Online] [Citação: 13 de 10 de 2014.] <http://www.modbus.org/faq.php>.
32. —. *Modbus Application Protocol Specification V1.1b3*. 2012. p. 50.
33. **Santos, José Paulo.** Comunicação Modbus. *Apontamentos de Tecnologias de Accionamento e Comando*. 2010/2011.
34. **Redes, Escola de.** Empreendimentos em Rede. *Escola de Redes*. [Online] [Citação: 13 de 10 de 2014.] <http://escoladeredes.net/group/transioorganizacional/page/empreendimentos-em-rede-tendencias-e-desafios>.
35. **PPIware.** Raspberry Pi. *PPIware*. [Online] [Citação: 14 de 10 de 2014.] <http://pplware.sapo.pt/informacao/raspberry-pi-estreu-se-ontem-a-venda-por-cerca-de-26e/>.
36. **RS.** RS. [Online] [Citação: 14 de 10 de 2014.] http://pt.rs-online.com/web/c/semicondutores/kits-de-desarrollo-para-semiconductor/kits-de-desarrollo-de-procesador-y-microcontrolador/?sort-by=P_breakPrice1&sort-order=asc&applied-dimensions=4294510328&esid=cl_4294967294,cl_4294875653,cl_4293668993,cl_4.
37. **Pi, Raspberry.** Model A. [Online] [Citação: 13 de 10 de 2014.] <http://www.raspberrypi.org/products/model-a/>.
38. **Farnell.** PLC Programmers. [Online] [Citação: 10 de 11 de 2014.] <http://pt.farnell.com/siemens/6ed1-052-2md00-0ba6/logic-module-8i-p-4o-p-12v-24v/dp/1657149>.
39. **Microchip.** *PIC18F2520*. 2008. Microcontrollers with 10-Bit A/D and nano Watt Technology.
40. —. Microchip Direct - PIC18F2520. [Online] [Citação: 09 de 10 de 2014.] <http://www.microchipdirect.com/ProductDetails.aspx?Category=PIC18F2520>.

41. **Aliexpress.** nRF24L01+. [Online] [Citação: 22 de 10 de 2014.] http://pt.aliexpress.com/wholesale?isFreeShip=y&SearchText=nrf24l01&enSearchText=NRF24L01&CatId=0&shipCountry=pt&initiative_id=SB_20141022125839&isAtmOnline=n&isRtl=yes&SortType=price_asc&filterCat=201001107,201000349,201000056&groupsort=1.
42. **CSC460.** Roomba Mapping System. [Online] [Citação: 11 de 11 de 2014.] <http://web.uvic.ca/~andpol/project5.html>.
43. **Aliexpress.** nRF24L01+ with antenna. [Online] [Citação: 22 de 10 de 2014.] http://pt.aliexpress.com/wholesale?isFreeShip=y&SearchText=nrf24l01+pa+lina&enSearchText=NRF24L01+pa+lina&CatId=0&shipCountry=pt&initiative_id=AS_20141022130320&isAtmOnline=n&isRtl=yes&SortType=price_asc&filterCat=201000349,201001107&groupsort=1.
44. Roboino. [Online] [Citação: 8 de 10 de 2014.] <http://robino.ru/product/a1>.
45. **Emartee.** Emartee. [Online] [Citação: 8 de 10 de 2014.] <http://www.emartee.com/product/42079/2.4G%20Wireless%20nRF24L01+%20PA%20And%20LNA%20Module>.
46. **NordicSemiconductor.** nRF24L01+. 2008.
47. **Microchip.** MicrochipDirect - MCP7940M. [Online] [Citação: 10 de 10 de 2014.] <http://www.microchipdirect.com/ProductDetails.aspx?Category=MCP7940M>.
48. —. MCP7940M. 2012-2014. Low-Cost I2C Real-Time Clock/Calendar with SRAM.
49. —. Real-Time Clock/Calendar. *Microchip*. [Online] [Citação: 10 de 10 de 2014.] <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/technology/realtimeclock/features/12crtcc.html>.
50. **Electric, Schneider.** *Redes de Comunicação Industrial*. 2007.
51. **PH.ENG.BR.** [Online] [Citação: 14 de 10 de 2014.] <http://www.ph.eng.br/Microcontroladores/pic-watchdog-timer.html>.
52. **Microsoft.** Pré-requisitos de implantação de aplicativos. *Microsoft Developer Network*. [Online] [Citação: 19 de 10 de 2014.] <http://msdn.microsoft.com/pt-BR/library/h4k032e1.aspx>.
53. **IPMA.** [Online] [Citação: 20 de 10 de 2014.] <http://www.ipma.pt/pt/html.jsp>.
54. **GlobalWeather.** [Online] [Citação: 20 de 10 de 2014.] <http://www.webservicex.net/globalweather.asmx/GetCitiesByCountry>.

8 Anexos

Anexo A. Endereços físicos da rede implementada

Tabela 8.1: Endereços físicos de todos os equipamentos

Grupo de <i>Slaves</i>					
0	0	1	2	3	4
00:00:00:01 (Computador)	00:00:00:00 (Master)	01:00:00:00	01:01:00:00	01:01:01:00	01:01:01:01
					01:01:01:10
					01:01:01:11
				01:01:10:00	01:01:10:01
					01:01:10:10
					01:01:10:11
			01:10:00:00	01:01:11:00	01:01:11:01
					01:01:11:10
					01:01:11:11
				01:10:01:00	01:10:01:01
					01:10:01:10
					01:10:01:11
				01:10:10:00	01:10:10:01
					01:10:10:10
					01:10:10:11
				01:10:11:00	01:10:11:01
					01:10:11:10
					01:10:11:11
		10:00:00:00	01:11:00:00	01:11:01:00	01:11:01:01
					01:11:01:10
					01:11:01:11
				01:11:10:00	01:11:10:01
					01:11:10:10
					01:11:10:11
			10:01:00:00	01:11:11:00	01:11:11:01
					01:11:11:10
					01:11:11:11
				10:01:01:00	10:01:01:01
					10:01:01:10
					10:01:01:11
				10:01:10:00	10:01:10:01
					10:01:10:10
					10:01:10:11
				10:01:11:00	10:01:11:01
					10:01:11:10
					10:01:11:11

			10:10:00:00	10:10:01:00	10:10:01:01
					10:10:01:10
					10:10:01:11
				10:10:10:00	10:10:10:01
					10:10:10:10
					10:10:10:11
				10:10:11:00	10:10:11:01
					10:10:11:10
					10:10:11:11
			10:11:00:00	10:11:01:00	10:11:01:01
					10:11:01:10
					10:11:01:11
				10:11:10:00	10:11:10:01
					10:11:10:10
					10:11:10:11
				10:11:11:00	10:11:11:01
					10:11:11:10
					10:11:11:11
		11:00:00:00	11:01:00:00	11:01:01:00	11:01:01:01
					11:01:01:10
					11:01:01:11
				11:01:10:00	11:01:10:01
					11:01:10:10
					11:01:10:11
				11:01:11:00	11:01:11:01
					11:01:11:10
					11:01:11:11
			11:10:00:00	11:10:01:00	11:10:01:01
					11:10:01:10
					11:10:01:11
				11:10:10:00	11:10:10:01
					11:10:10:10
					11:10:10:11
				11:10:11:00	11:10:11:01
					11:10:11:10
					11:10:11:11
			11:11:00:00	11:11:01:00	11:11:01:01
					11:11:01:10
					11:11:01:11
				11:11:10:00	11:11:10:01
					11:11:10:10
					11:11:10:11
				11:11:11:00	11:11:11:01
					11:11:11:10
					11:11:11:11

Anexo B. Aplicação Desenvolvida

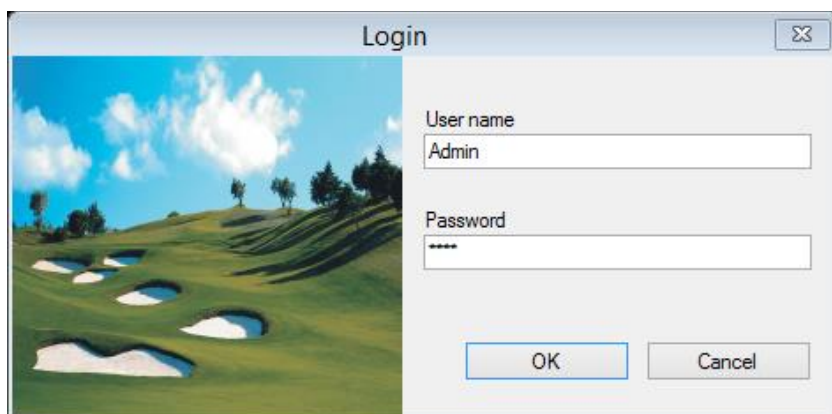
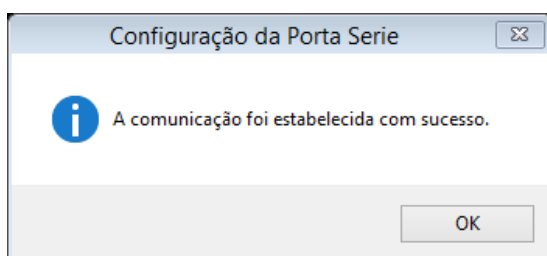
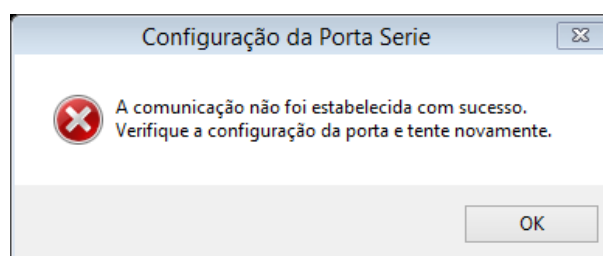


Figura 8.1: Ecrã - Credenciais de Acesso



a) Comunicação bem-sucedida



b) Comunicação sem sucesso

Figura 8.2: Ecrã - Teste da configuração da Porta Série



Figura 8.3: Ecrã - Sensores em Modo Automático

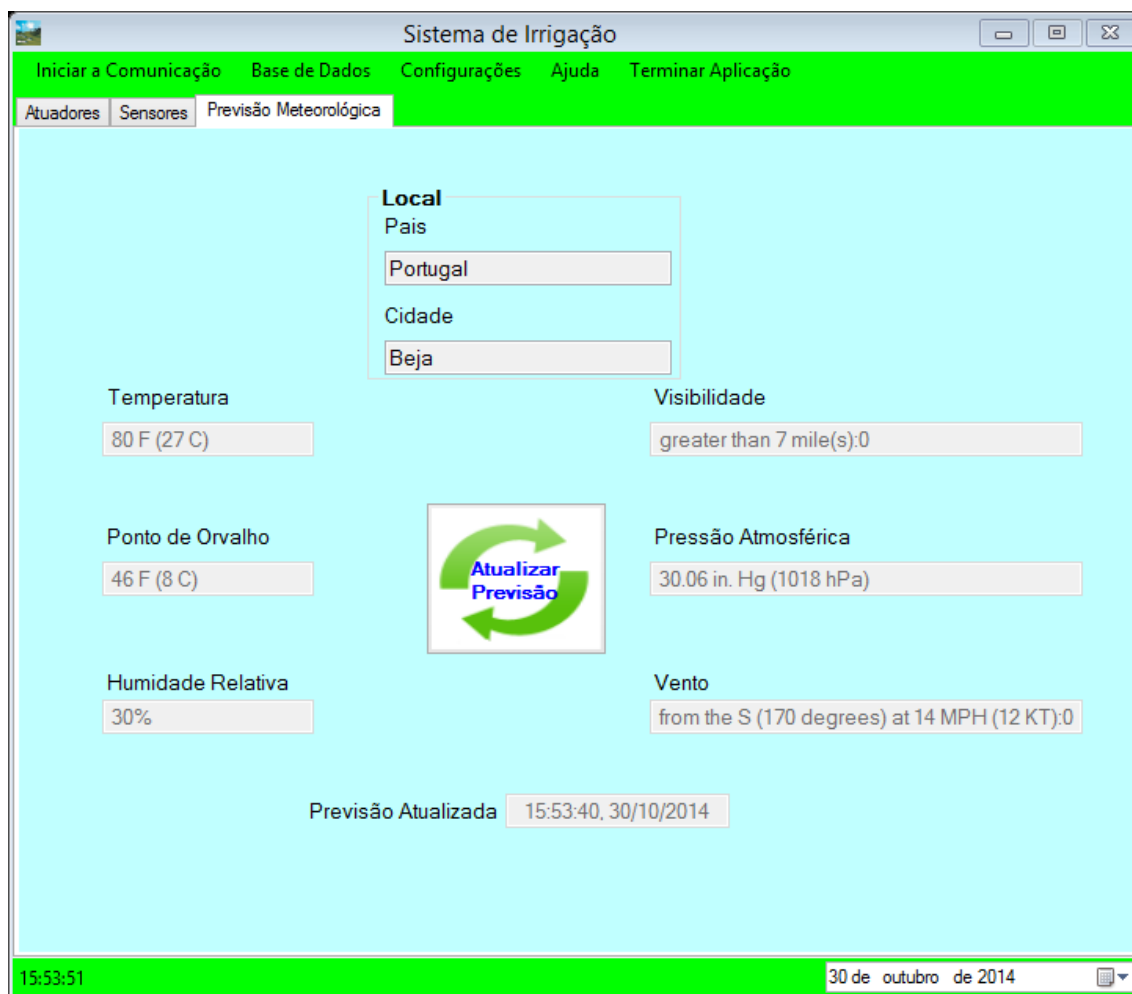


Figura 8.4: Ecrã - Previsão Meteorológica, *GlobalWeather*



Figura 8.5: Ecrã - Alteração do posicionamento da eletroválvula na janela

Sistema de Irrigação

[Fechar a Comunicação](#)
[Base de Dados](#)
[Configurações](#)
[Ajuda](#)
[Terminar Aplicação](#)

[Atuadores](#)
[Sensores](#)
[Previsão Meteorológica](#)
[Configurar Sensores](#)

1 de 9

Sensor: 1
 Nome: Temperatura
 Visível: ☒

Localização na Interface
 Localização (X): 491
 Localização (Y): 230
 Slave: 01000000
 Pino: 2


[Editar](#)
[Gravar](#)

Sensor	Nome	Visível	Localização (X)	Localização (Y)	Slave	Pino
1	Temperatura	<input checked="" type="checkbox"/>	491	230	01000000	2
2	Temperatura	<input checked="" type="checkbox"/>	579	107	01010000	2
3	Humidade do Ar	<input type="checkbox"/>	543	308	01000000	3
4	Humidade do Solo	<input type="checkbox"/>	269	337	01010101	2
5		<input type="checkbox"/>	140	378	01010101	3
6		<input type="checkbox"/>	103	378	01010000	3
7		<input type="checkbox"/>	234	145	01010100	4
8		<input type="checkbox"/>	392	145	01010101	4
9		<input type="checkbox"/>	349	279	01000000	4

15:51:48 30 de outubro de 2014

Figura 8.6: Ecrã - Configuração dos Sensores

Autorização Especial



User name
 Admin

Password

[OK](#)
[Cancel](#)

Figura 8.7: Ecrã - Autorização Especial

Histórico da Previsão Meteorológica								
<div> <div> <div>1</div> <div>de 1</div> </div> <div> <div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div> <div> <div>+</div> <div>×</div> <div>Reset</div> </div> </div> </div>								
	DataHora	Temperatura	Velocidade (Vento)	Direção (Vento)	Humidade	Precipitação	Pressão	Neb
▶	30/10/2014 16:00:00	27.9	10.8	E	39.6	0	---	
<div> <div></div> </div>								
<div> <div>Procurar por data:</div> <div>30/10/2014</div> <div> <div></div> </div> <div>Procurar</div> <div>Limpar Filtro</div> </div>								

Figura 8.8: Ecrã - Histórico da Previsão Meteorológica



Figura 8.9: Ecrã - Versão da aplicação

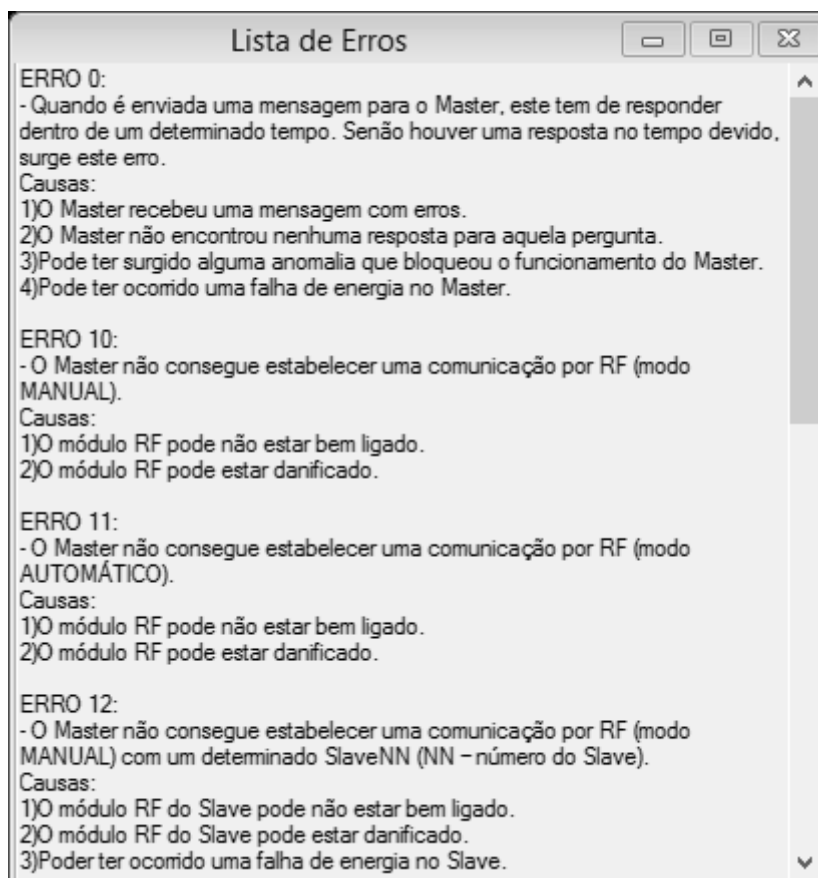


Figura 8.10: Ecrã - Lista de Erros

Anexo C. Registos dos *Slaves*

Tabela 8.2: Descrição dos registos do *Slave*

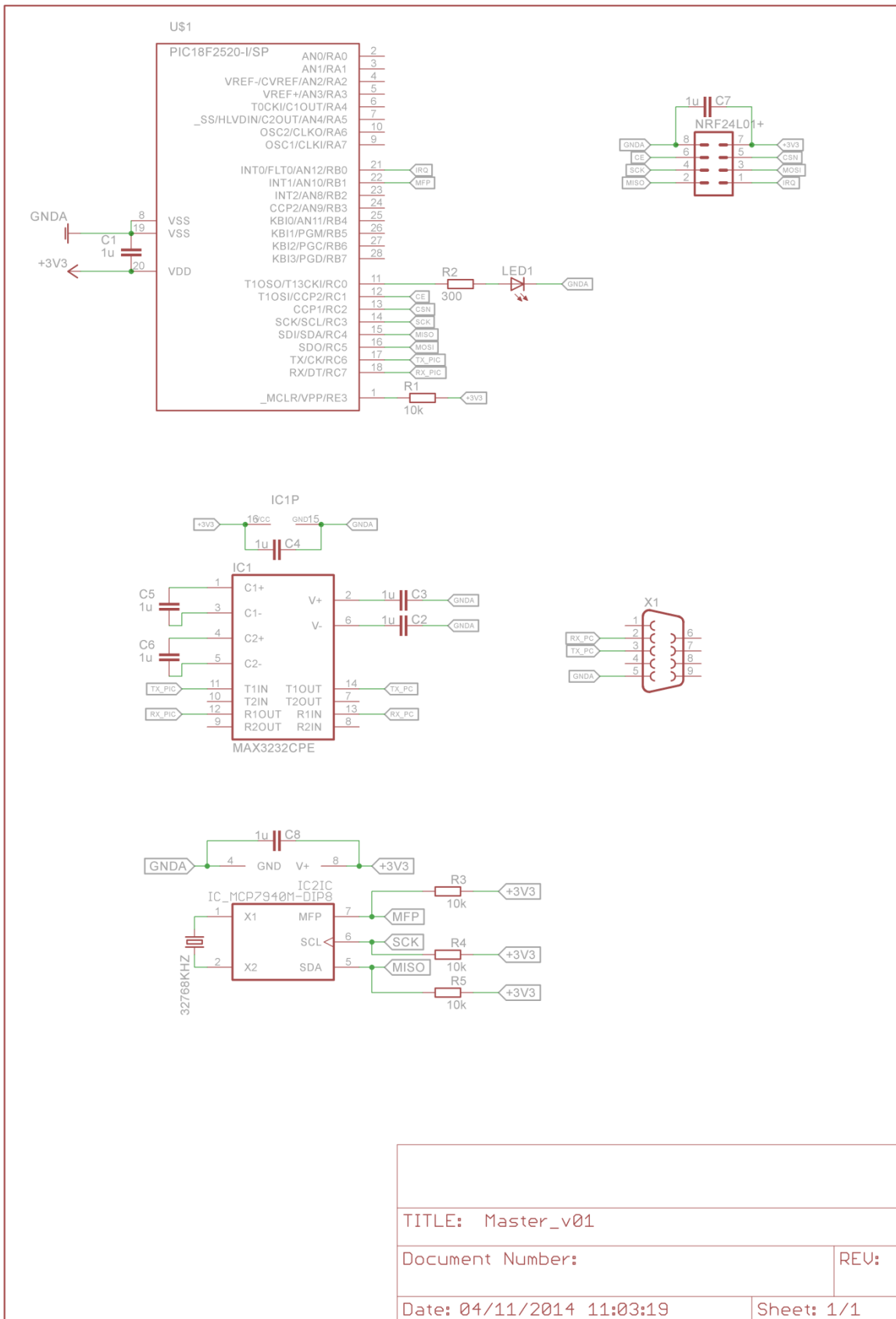
Registo	Descrição:
02	Entrada Analógica 0 (AN0)
03	Entrada Analógica 1 (AN1)
04	Entrada Analógica 2 (AN2)
05	Entrada Analógica 3 (AN3)
16	Entrada Digital 0 (RB1)
17	Saída Digital 0 (RB2)
18	Saída Digital 1 (RB3)
19	Saída Digital 2 (RB4)
1A	Saída Digital 3 (RB5)
1B	Saída Digital 4 (RB6)
1C	Saída Digital 5 (RB7)

Anexo D. Lista de Erros da comunicação RF

Tabela 8.3: Identificação dos Erros na comunicação

Identificação do Erro:	Causas:
ERRO 0: Quando é enviada uma mensagem para o <i>Master</i> , este tem de responder dentro de um determinado tempo. Senão houver uma resposta no tempo devido, surge este erro.	1)O <i>Master</i> recebeu uma mensagem com erros. 2)O <i>Master</i> não encontrou nenhuma resposta para aquela pergunta. 3)Pode ter surgido alguma anomalia que bloqueou o processamento do <i>Master</i> . 4)Pode ter ocorrido uma falha de energia no <i>Master</i> .
ERRO 10: O <i>Master</i> não consegue estabelecer uma comunicação por RF (modo MANUAL).	1)O módulo RF pode não estar bem ligado. 2)O módulo RF pode estar danificado.
ERRO 11: O <i>Master</i> não consegue estabelecer uma comunicação por RF (modo AUTOMÁTICO).	1)O módulo RF pode não estar bem ligado. 2)O módulo RF pode estar danificado.
ERRO 12: O <i>Master</i> não consegue estabelecer uma comunicação por RF (modo MANUAL) com um determinado <i>Slave</i> NN (NN – número do <i>Slave</i>).	1)O módulo RF do <i>Slave</i> pode não estar bem ligado. 2)O módulo RF do <i>Slave</i> pode estar danificado. 3)Poder ter ocorrido uma falha de energia no <i>Slave</i> .
ERRO 13: O <i>Master</i> não consegue estabelecer uma comunicação por RF (modo AUTOMÁTICO) com um determinado <i>Slave</i> NN (NN – número do <i>Slave</i>).	1)O módulo RF do <i>Slave</i> pode não estar bem ligado. 2)O módulo RF do <i>Slave</i> pode estar danificado. 3)Poder ter ocorrido uma falha de energia no <i>Slave</i> .
ERRO 14: O <i>Master</i> sabe que o <i>Slave</i> NN recebeu a mensagem (modo MANUAL), mas o <i>Slave</i> NN não respondeu durante um determinado tempo, via RF (NN – número do <i>Slave</i>).	1)O módulo RF do <i>Slave</i> pode-se ter desconectado. 2)O módulo RF do <i>Slave</i> pode-se ter danificado. 3)Poder ter ocorrido uma falha de energia no <i>Slave</i> . 4)O <i>Slave</i> não encontrou nenhuma resposta para aquela mensagem. 5)Pode ter surgido alguma anomalia que bloqueou o processamento do <i>Slave</i> .
ERRO 15: O <i>Master</i> sabe que o <i>Slave</i> NN recebeu a mensagem (modo AUTOMÁTICO), mas o <i>Slave</i> NN não respondeu durante um determinado tempo, via RF (NN – número do <i>Slave</i>).	1)O módulo RF do <i>Slave</i> pode-se ter desconectado. 2)O módulo RF do <i>Slave</i> pode-se ter danificado. 3)Poder ter ocorrido uma falha de energia no <i>Slave</i> . 4)O <i>Slave</i> não encontrou nenhuma resposta para aquela mensagem. 5)Pode ter surgido alguma anomalia que bloqueou o processamento do <i>Slave</i> .
ERRO 16: O <i>Slave</i> não consegue estabelecer uma comunicação por RF com um determinado <i>Slave</i> NN (NN – número do <i>Slave</i>).	1)O módulo RF do <i>Slave</i> NN pode não estar bem ligado. 2)O módulo RF do <i>Slave</i> NN pode estar danificado. 3)Poder ter ocorrido uma falha de energia no <i>Slave</i> NN.

Anexo E. Esquema elétrico *Master*



Anexo F. Esquema eléctrico *Slave*

